Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

LE FORMALDÉHYDE

Canada

avril 1985

86-03105/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE FORMALDÉHYDE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
AVRIL 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par la Section des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Formaldehyde
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 48-10/38-1985F
ISBN 0-662-93528-4
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection "Enviroguide" a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	VIII
	Définitions	X
	Sigles	XII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	4
3	**Production, transports et commerce**	13
3.1	Qualités et titres	13
3.2	Fabricants situés au Canada	13
3.3	Autres fournisseurs	13
3.4	Centres de production et transport	14
3.5	Volume de production	14
3.6	Fabrication industrielle	14
3.6.1	Information générale	14
3.6.2	Procédé de fabrication	14
3.6.3	Sous-produits	15
3.7	Principales utilisations au Canada	15
3.8	Principaux acheteurs au Canada	15
4	**Manutention du produit et compatibilité**	16
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	16
4.1.1	Transport en vrac	16
4.1.1.1	Wagons-citernes	16
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	19
4.1.2	Transport sous emballage	19
4.2	Déchargement	20
4.2.1	Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes	20
4.2.2	Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement	21
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	22
5	**Fuite et migration du produit**	25
5.1	Aperçu général	25
5.2	Fuite du produit	25
5.2.1	Introduction	25
5.2.2	Nomogrammes de la fuite	26
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	26
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	27
5.2.3	Exemples de calcul	27
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	27
5.3.1	Introduction	27
5.3.2	Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs	27
5.3.2.1	Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température	30
5.3.2.2	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	33

5.3.2.3	Demi-largeur maximale du panache dangereux	35
5.3.2.4	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	35
5.3.3	Étapes du calcul	38
5.4	Comportement dans l'eau	40
5.4.1	Introduction	40
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	43
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	45
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	45
5.4.3	Exemples de calcuul	53
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	53
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	53
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	56
5.5.1	Introduction	56
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	56
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	57
5.5.4	Types de sol	57
5.5.5	Nomogrammes de la migration	57
5.5.6	Exemple de calcul	58
6	**Protection de l'environnement**	63
6.1	Limites maximales admissibles	63
6.1.1	Qualité de l'eau	63
6.1.2	Qualité de l'air	63
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	63
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux USA	63
6.2.2	Mesures de la toxicité	63
6.2.2.1	Toxicité en eau douce	63
6.2.2.2	Toxicité en eau salée	68
6.3	Toxicité pour les oiseaux	68
6.4	Toxicité pour les végétaux	68
6.5	Études sur les effets toxiques	69
6.6	Dégradation du polluant	69
6.7	Teneurs des milieux ambiants	69
6.8	Devenir à long terme	70
7	**Protection de la santé**	71
7.1	Normes d'exposition	71
7.2	Données sur l'action irritante	73
7.2.1	Contact avec la peau	73
7.2.2	Contact avec les yeux	74
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	75
7.3.1	Odeur	75
7.3.2	Saveur	75
7.4	Études sur les effets toxiques	75
7.4.1	Inhalation	75
7.4.2	Ingestion	77
7.4.3	Administration par voie sous-cutanée	78
7.4.4	Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité	78
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	79
7.5.1	Inhalation	80
7.5.2	Ingestion	80
7.5.3	Contact avec la peau	81
7.5.4	Contact avec les yeux	81

8	**Compatibilité chimique**	82
8.1	Compatibilité entre le formaldéhyde et divers agents	82
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	85
9.1	Mesures recommandées	85
9.1.1	Danger d'incendie	85
9.1.2	Moyens d'extinction	85
9.1.3	Mesures d'intervention en cas de déversement	85
9.1.3.1	Information générale	85
9.1.3.2	Déversement sur le sol	85
9.1.3.3	Déversement dans l'eau	86
9.1.4	Nettoyage et traitement	86
9.1.4.1	Déversement sur le sol	86
9.1.4.2	Déversement dans l'eau	86
9.1.4.3	Information générale	86
9.1.5	Élimination du polluant	86
9.1.6	Appareils et vêtements de protection	86
9.1.7	Entreposage	87
9.2	Équipement, techniques et produits spécialisés d'intervention	87
10	**Cas de déversement accidentel**	89
10.1	Information générale	89
10.2	Fuite d'un wagon-citerne	89
11	**Identification et dosage du polluant**	91
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air	91
11.1.1	Spectrophotométrie	91
11.2	Identification du polluant présent dans l'air	92
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau	92
11.3.1	Spectrophotométrie	92
11.3.2	Spectroscopie infrarouge	93
11.4	Identification du polluant présent dans l'eau	93
11.5	Dosage du polluant présent dans l'eau	93
11.5.1	Spectroscopie infrarouge	93
11.6	Identification du polluant présent dans le sol	94
12	**Références et bibliographie**	95
12.1	Références	95
12.2	Bibliographie	101

LISTE DES FIGURES

1	Tension de vapeur en fonction de la température	10
2	Masse volumique du liquide en fonction de la température	11
3	Viscosité du liquide en fonction de la température	11
4	Température minimale d'entreposage	12
5	Diagramme de phases	12
6	Wagon-citerne de spécification 111A60W1	17
7	Orifice au-dessous du niveau du liquide	26
8	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	28
9	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	28
10	Formation d'un panache de vapeurs	29
11	Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse	31
12	Débit d'émission des vapeurs à différentes températures en fonction du rayon de la nappe	32
13	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	34
14	Conversion des unités de la TLV• (ppm en g/m^3)	36
15	Conversion en g/m^3 du % volumique de la limite inférieure d'inflammabilité	37
16	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	41
17	Zone dangereuse maximale sous un vent invariable	42
18	Zone dangereuse maximale sous un vent variable	42
19	Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	44
20	Distance en fonction du temps	46
21	Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal	47
22	Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique	48
23	Alpha en fonction du coefficient de distribution turbulente	49
24	Delta en fonction d'alpha	50
25	Teneur maximale en fonction de delta	51
26	Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique	52
27	Teneur moyenne en fonction du volume d'eau	54
28	Migration dans le sous-sol	55
29	Plan d'utilisation des nomogrammes	59
30	Migration dans un sable grossier	60
31	Migration dans un sable limoneux	61
32	Migration dans un till argileux	62

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de conversion	9
2	Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour le formaldéhyde	16
3	Caractéristiques des wagons-citernes de spécification 111A60W1 utilisés pour le cyclohexane	18
4	Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport du cyclohexane	20
5	Compatibilité entre le formaldéhyde et certains matériaux de fabrication	23
6	Catégories météorologiques (de stabilité)	33
7	Demi-largeur maximale du panache de vapeurs de formaldéhyde en solution titrant 37 p. 100	38

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.*	Dose létale minimale
DL 50*	Dose létale moyenne
DT min.	Dose toxique minimale
et coll.	Et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
l	Litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible - courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
Pa . s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL*	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL*	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50*	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50*	Teneur inhibitrice moyenne
TLm*	Tolérance moyenne
TL min.*	Teneur létale minimale

TL 50*	Teneur létale moyenne
TLV®*	*Threshold Limit Value*
TLV® -C*	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.*	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
~~W~~	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

* Notions expliquées dans la section Définitions.

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection "Enviroguide". Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. - Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. - Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. - Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. - Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. - Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. - La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. - Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* - Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. - Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un "récepteur" qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. - En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. - Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. - Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV - *Short Term Exposure Limit).* - Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. - Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. - Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV® -C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. - La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). - Rapport de la masse d'une substance dissoute

à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV® -C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* - Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. - Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyer's Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Formaldéhyde (HCHO)

Le formaldéhyde se présente comme une solution aqueuse incolore ou comme un gaz; il dégage une odeur piquante et irritante.

Synonymes

Corps pur: formol, aldéhyde formique, méthanal, aldéhyde méthylique, oxyde de méthylène, oxométhane, oxométhylène (syn. anglais: *formaldehyde*)

Solutions: formaline, formol.

Polymères solides: paraformaldéhyde, trioxane.

Numéros d'identification

UN1198 (solution, point d'éclair inf. à 61 °C), 2209 (solution, point d'éclair sup. à 61 °C); CAS 50-00-0; OHM-TADS 7216732; STCC 4940341 ou 4940342.

Qualités et titres

Solutions aqueuses titrant 37 à 52 p. 100 de formaldéhyde (en poids), 7 à 15 p. 100 de méthanol (inhibées) ou 1 p. 100 de méthanol (non inhibées).

Dangers immédiats

Incendie. - Combustible.

Effets sur l'homme. - Très toxique par inhalation, ingestion ou contact. Soupçonné d'être carcinogène.

Effets sur l'environnement. - Toxique pour les organismes aquatiques, même à faible teneur.

Données relatives aux propriétés physiques

État à l'expédition	Solution titrant 37 p. 100
État (15 °C, 1 atm)	Liquide
Point d'ébullition	≈ 97 °C
Inflammabilité	Combustible
Point d'éclair	56 à 85 °C (coupelle fermée)
Tension de vapeur	6,3 kPa (38 °C)
Masse volumique	1,075 à 1,125 g/ml (25 °C)
Miscibilité à l'eau	Miscible
Comportement dans l'eau	Se mélange; aucune réaction
Comportement dans l'air	Vapeurs combustibles
Plage du seuil olfactif	0,5 à 1 ppm

Dangers pour l'environnement

Le formaldéhyde est toxique pour les organismes aquatiques, même à une teneur aussi faible que 1 mg/l. Nous ne savons pas s'il est bioconcentré ou bio-accumulé.

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible (TLV®) établie par l'ACGIH: 1 ppm (1,5 mg/m^3).

Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) établie par le NIOSH: 100 ppm.

Effets en cas d'inhalation. - L'inhalation du produit cause une irritation des yeux et des muqueuses des voies respiratoires. Elle provoque des maux de gorge, des toux, des bronchites, des nausées, des troubles gastriques, des hémorragies et dans certains cas la mort.

Effets en cas de contact. - Le contact avec la peau cause de l'irritation, un effet de tannage et une sensibilisation allergique. Le contact avec les yeux provoque une irritation, des démangeaisons, des larmoiements et parfois des dommages dans le cas de fortes teneurs.

Dispositions immédiates à prendre

- En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: "Produit combustible et toxique". Appeler les pompiers et avertir le fabricant. Éliminer les causes possibles d'inflammation, dont la circulation automobile et le fonctionnement d'appareils. Arrêter l'écoulement et confiner le liquide déversé si cela ne présente aucun risque. Éviter tout contact avec le liquide et les vapeurs; se tenir du côté exposé au vent. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

- En cas d'incendie

Utiliser une mousse anti-alcool, de la poudre sèche, de la neige carbonique, des pulvérisations ou des brouillards d'eau pour éteindre le feu. Refroidir avec de l'eau les récipients menacés par les flammes; ils peuvent exploser à la chaleur du feu.

Mesures d'intervention d'urgence

- Formaldéhyde répandu sur le sol

Construire des barrages pour confiner la nappe ou la diriger vers des surfaces imperméables. Enlever le produit au moyen de pompes ou d'aspirateurs. Absorber le liquide qui reste avec des agents absorbants naturels ou synthétiques, puis ramasser à la pelle et mettre dans des récipients munis de couvercles.

- Formaldéhyde déversé dans l'eau

Confiner l'eau polluée au moyen de barrages, de digues de dérivation ou de barrières naturelles. Récupérer l'eau si possible, afin de l'épurer.

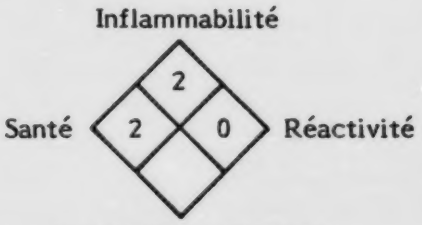
- Formaldéhyde émis dans l'atmosphère

Utiliser un jet d'eau pour abattre les vapeurs au sol. Confiner l'eau de ruissellement afin de pouvoir par la suite l'épurer ou l'éliminer.

Niveau de gravité du risque selon la NAS

Incendie	2
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	3
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	2
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	3
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2
Réactivité (chimique)	
Autres corps	2
Eau	0
Réaction spontanée	1

Évaluation du risque selon la NFPA



SOLUTION AQUEUSE

GAZ

Champ inférieur vide: utiliser l'eau comme moyen d'extinction

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

	Gaz	Solution aqueuse à 37 %
Aspect	Gaz incolore (MCA, 1960)	Liquide incolore, transparent (Celanese PB)
État à l'expédition	Non disponible dans le commerce (MCA, 1960)	Solution à 37 p. 100 (inhibée) avec 7 à 15 p. 100 d'alcool méthylique ou 1 p. 100 de méthanol (non inhibée) (Celanese PB)
État d'agrégation (15 °C, 1 atm)	Gaz	Liquide (solution aqueuse)
Variables d'état		
Point de fusion	-118 °C (Kirk-Othmer, 1980)	
Point d'ébullition	-19 °C (Kirk-Othmer, 1980)	97 °C (inhibée avec 7 p. 100 de méthanol) (MCA, 1960)
Tension de vapeur	101 kPa (-19 °C) (CRC, 1980)	6,3 kPa (38 °C) (Celanese MSDS, 1979)
Masse volumique et densités		
Masse volumique	0,8153 g/ml (liquide à -20 °C)	Teneur en méthanol (% en poids) / Masse volumique (20 °C)
		7 — 1,097
		10 — 1,089
		12 — 1,083
		15 — 1,075
		(Kirk-Othmer, 1980)
Densité relative	0,815 (-20°/4 °C) (Verschueren, 1984)	Teneur en méthanol (% en poids) / Densité relative (25/25 °C)
		7 — 1,098
		10 — 1,088
		12 — 1,083
		15 — 1,075
		(MCA, 1960)
Densité relative de la vapeur	1,075 (MCA, 1960) 1,067 (Ullmann, 1975)	1,03 (environ) (MCA, 1960)

	Gaz	Solution aqueuse à 37 %
Propriétés relatives à la combustion		
Inflammabilité	Gaz inflammable (NFPA, 1978)	Des vapeurs se dégagent facilement de la solution et elles sont inflammables dans l'air (NFPA, 1978).
Point d'éclair		Teneur en méthanol (% en poids) / Point d'éclair (c.f.) 1 — 85 °C 7 — 72 °C 10 — 64 °C 12 — 60 °C 15 — 56 °C (MCA, 1960; CCPA, 1983)
Température d'inflammation spontanée	424 °C (NFPA, 1978) 430 °C (Kirk-Othmer, 1980)	
Limite supérieure d'inflammabilité	73 p. 100 (vol./vol.) (NFPA, 1978)	
Limite inférieure d'inflammabilité	7 p. 100 (vol./vol.) (NFPA, 1978)	
Chaleur de combustion	571 kJ/mol (20 °C) (CRC, 1980)	
Produits de combustion	Dioxyde de carbone et eau (CRC, 1980)	
Solubilité, miscibilité		
Eau	Soluble (CRC, 1980)	Miscible (Merck, 1976)
Autres substances	Soluble dans le diéthyléther, dans l'acétone et le benzène. Soluble dans l'éthanol et le chloroforme (CRC, 1980).	Miscible à l'éthanol et à l'acétone (Merck, 1976). Miscible au méthanol, au butanol et au propanol (Celanese PB).
Autres propriétés		
Masse moléculaire	30,03 (CRC, 1980)	
Composition caractéristique de la solution commerciale		37,25 ± 0,25 p. 100 de formaldéhyde; inhibée, 6,5 à 15 p. 100 de méthanol; non inhibée, 0,5 à 1,5 p. 100 de méthanol (Celanese PB)

	Gaz	Solution aqueuse à 37 %	
Viscosité	0,32 mPa . s (liquide à -40 °C)	Teneur en méthanol (% en poids)	Viscosité (mPa . s) (20 °C)
		1	2,05
		7	2,20
		10-15	2,50
		(Kirk-Othmer, 1980)	
Indice de réfraction	0,0814 mPa . s (vapeur à 25 °C) (PPH, 1984)	Teneur en méthanol (% en poids)	Indice de réfraction (18 °C)
		1	1,37586
		7	1,37654
		10-15	1,37688
		(Kirk-Othmer, 1980)	
Chaleur latente vaporisation (au point d'ébullition)	24,76 kJ/mol (CRC, 1980)		
Chaleur de formation	-115,9 kJ/mol (25 °C) (JANAF, 1971)		
Entropie	218,8 J/(mol . K) (Ullmann, 1975)		
Potentiel d'ionisation	10,88 eV (Hernandez, 1977)		
Chaleur de dissolution	-62 kJ/mol (Ullmann, 1975)		
Chaleur de polymérisation	63 kJ/mol (Kirk-Othmer, 1980)		
Capacité calorifique à pression constante (25 °C)	35,4 J/(mol . °C) (JANAF, 1971)		
Pression critique	6637 kPa (Kirk-Othmer, 1980)		
Température critique	141,2 °C (Kirk-Othmer, 1980)		
Coefficient d'expansion thermique	0,00283/°C (gaz à 25 °C) (Ullmann, 1975)	0,0005 à 0,0006/°C (Celanese PB)	
pH de la solution aqueuse		2,8 à 4 (Merck, 1976)	
Log_{10} du coefficient de partage octanol/eau	-0,87 (NRC, 1981)		

	Gaz	Solution aqueuse à 37 %
Conductivité thermique	$1,59 \times 10^{-4}$ W/(cm . K) (gaz à 25 °C), $2,68 \times 10^{-3}$ W/(cm . K) (liquide à -40 °C) (PPH, 1984)	
Facteur de conversion pour les vapeurs	1 ppm = 1,248 mg/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1984)	

Constantes physico-chimiques (Kirk-Othmer, 1980; NRC, 1981; Ullmann, 1975)

Formaldéhyde. - Aux températures et pressions ordinaires, le formaldéhyde se présente à l'état de gaz. En raison de sa capacité à se polymériser, on ne le trouve pas dans le commerce. Cette tendance à se polymériser décroît à mesure qu'augmente la température. Au-dessus de 400 °C, le gaz se décompose suivant l'une de ces deux réactions:

$$2HCHO \rightarrow CH_3OH + CO$$
$$HCHO \rightarrow CO + H_2.$$

En solution aqueuse ou sous forme de vapeurs, le formaldéhyde s'oxyde facilement en acide formique. Ce dernier constitue également un important produit métabolique dans les organismes. En solution, la teneur en acide formique augmente avec le temps. À 35 °C, la teneur en acide formique augmente à raison de 1,5 à 3 ppm par jour; et à 65 °C, à raison de 10 à 20 ppm par jour selon la teneur en oxygène et les autres conditions.

Solutions (formaline). - En solution aqueuse, le formaldéhyde existe sous forme de méthylène-glycol, de polyoxyméthylène ($HO-(CH_2)_n-H$) et d'hémiformals. Même les solutions concentrées ne contiennent pas plus de 0,04 p. 100 en poids de formaldéhyde non hydraté. Des vapeurs de formaldéhyde peuvent être émises en continu d'une solution; ces émissions peuvent être augmentées si la solution est chauffée. La quantité de formaldéhyde monomérique présente dans une solution peut être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$\text{monomère (\% molaire)} = 100 - 123\sqrt{F} + (1,44 - 0,0164F)M$$

où F = pourcentage en poids de HCHO

M = pourcentage en poids de méthanol.

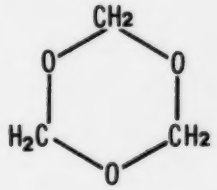
La polymérisation est rapide dans les solutions aqueuses; on ajoute donc du méthanol et d'autres alcools comme agents inhibiteurs. La polymérisation se fait plus rapidement à basse température. Les solutions de formaldéhyde sont donc stockées à des températures supérieures

à 16-21 °C. On s'aperçoit qu'il y a polymérisation lorsqu'une solution normalement transparente a un aspect trouble.

La plus grande partie du formaldéhyde est vendue sous forme de solutions aqueuses inhibées par du méthanol.

Paraformaldéhyde. - Le formaldéhyde se vend également sous forme polymérique solide appelée paraformaldéhyde, un corps représenté par la formule $HO-(HCHO)_n$, où n a une valeur de 8 à 100. Ce solide a un point de fusion de 120 à 170 °C selon l'état de la polymérisation. À la température de la pièce, du formaldéhyde se libère lentement du solide; cependant, lorsqu'il est chauffé, le solide émet rapidement du formaldéhyde monomérique. C'est la façon usuelle de l'utiliser, c'est-à-dire sous forme de monomère. On peut également obtenir des solutions, étant donné que le paraformaldéhyde est un peu soluble dans l'eau chaude.

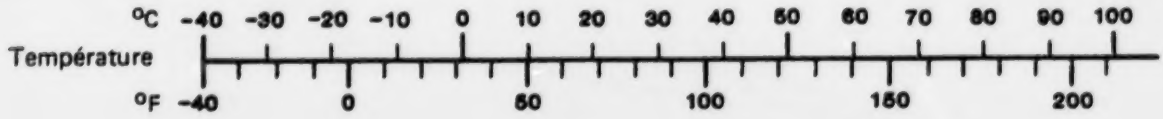
Trioxane. - Certaines quantités de formaldéhyde sont produites à partir du trioxane, un trimère cyclique du formaldéhyde:



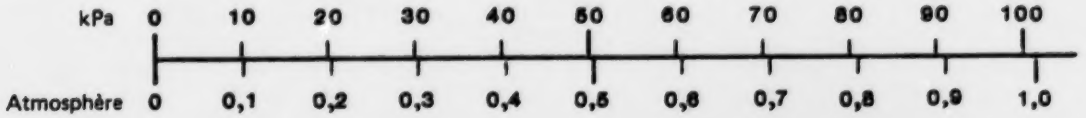
Ce solide cristallin incolore a un point de fusion de 61-62 °C, un point d'ébullition de 115 °C, et une solubilité dans l'eau de 21 g/100 ml (25 °C). À 25 °C, sa tension de vapeur est de 1,7 kPa et sa viscosité au point de fusion, de 65 °C, est de 2 mPa . s. Le trioxane peut être dépolymérisé en formaldéhyde dans des conditions acides comme par passage à 150-200 °C sur de l'acide phosphorique déposé sur du carbure de silicium.

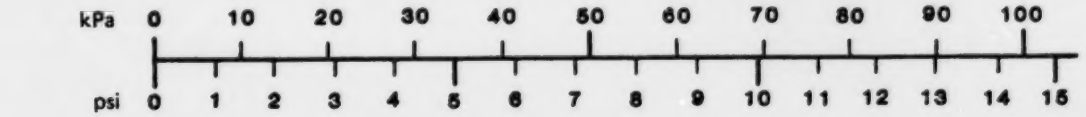
Tableau 1

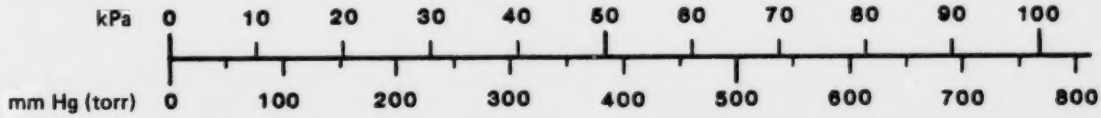
FORMALDÉHYDE — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression — 1 kPa = 1000 Pa







Viscosité

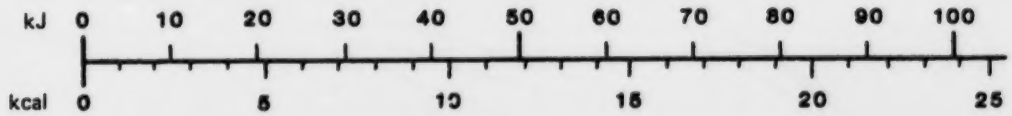
Dynamique — 1 Pa·s = 1000 centipoises (cPo)

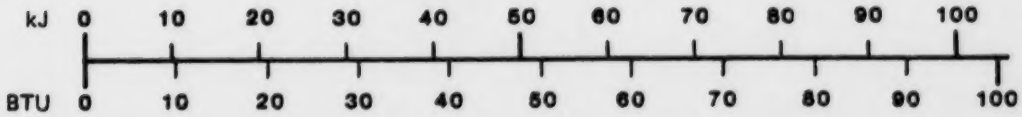
Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)

1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1000 J





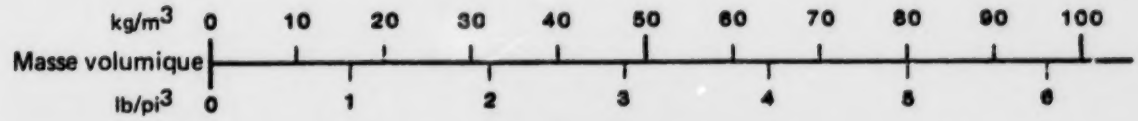


Figure 1

FORMALDÉHYDE

TENSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Sources: Ullmann, 1975; PPH, 1974

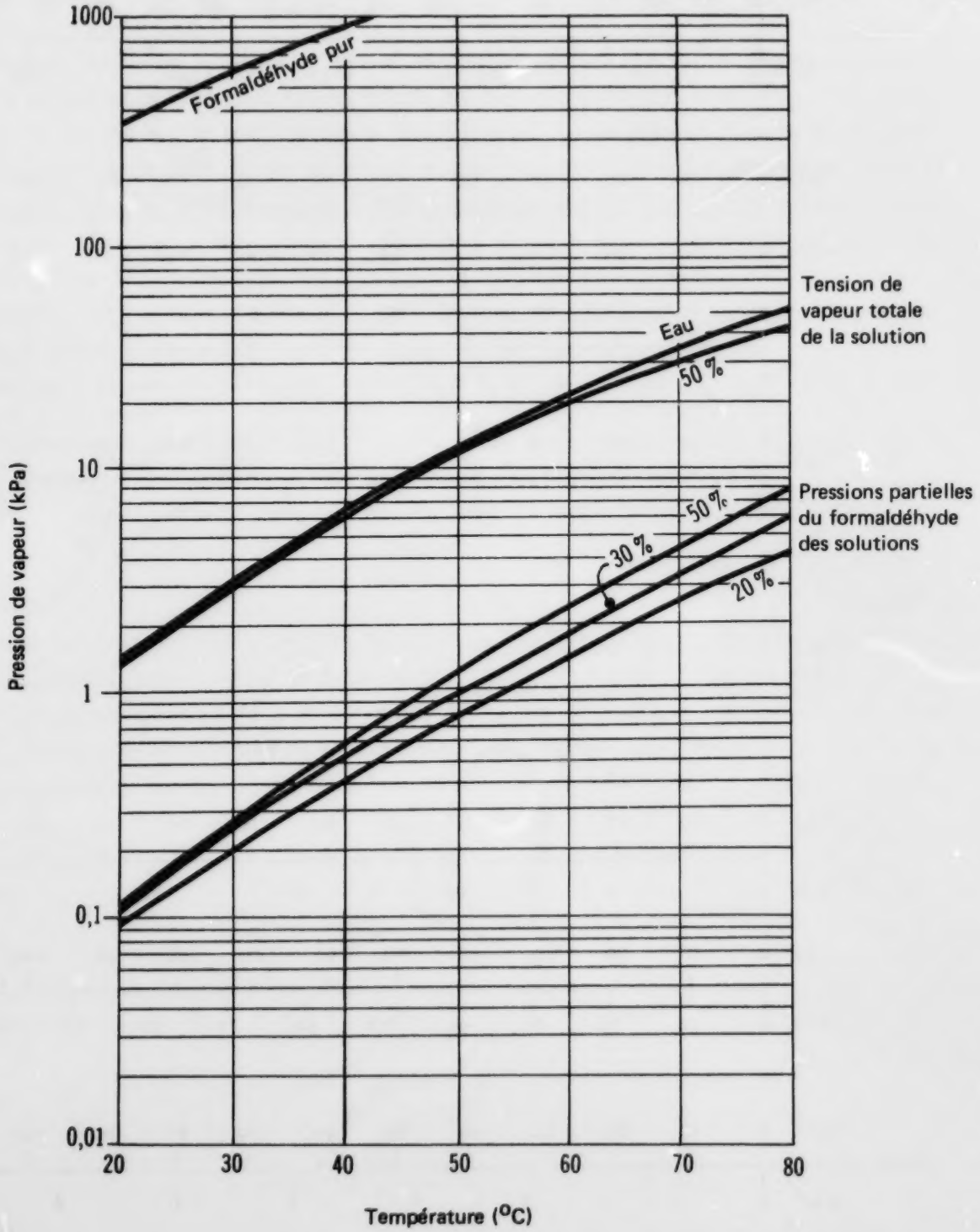
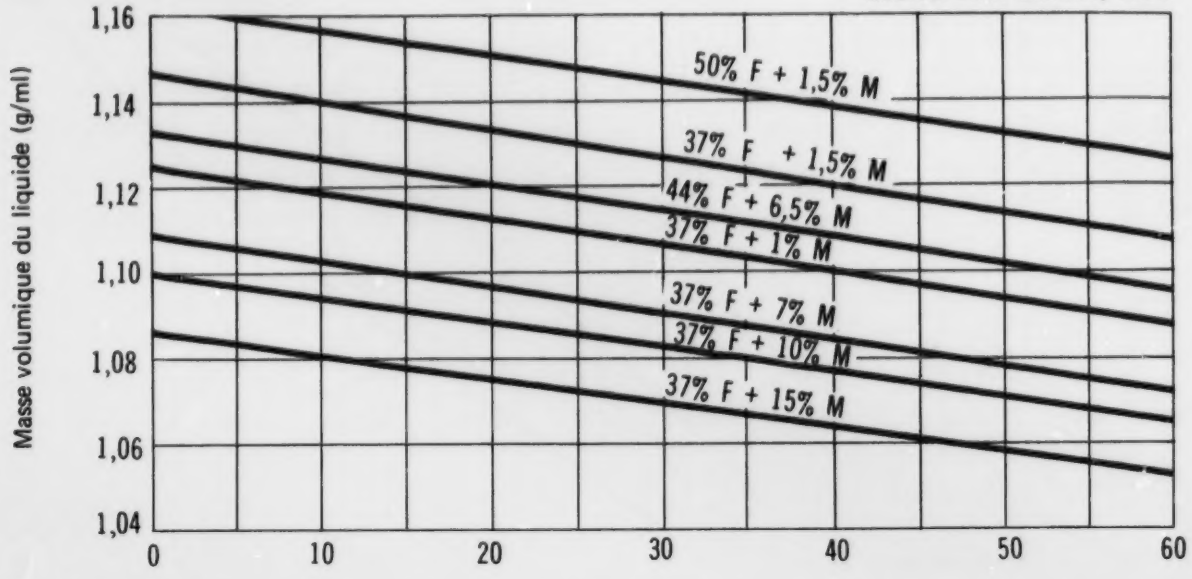


Figure 2

FORMALDÉHYDE (Solutions)

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Kirk-Othmer, 1980



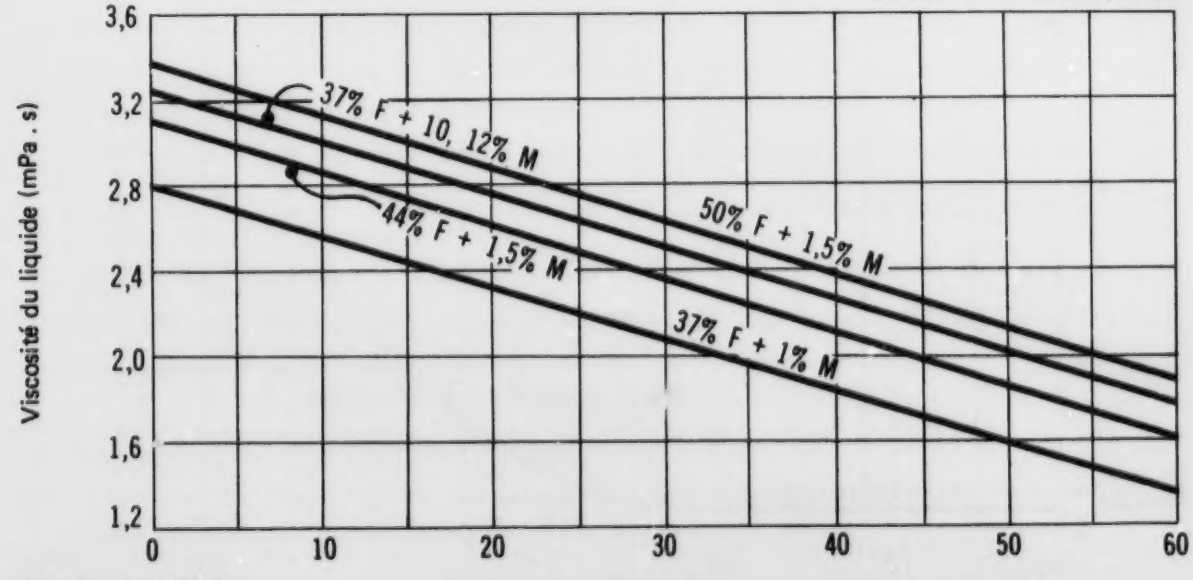
F = Formaldéhyde
M = Méthanol

Figure 3

FORMALDÉHYDE (Solutions)

VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Kirk-Othmer, 1980



F = Formaldéhyde
M = Méthanol

Figure 4

FORMALDÉHYDE (Solutions) — **TEMPÉRATURE MINIMALE D'ENTREPOSAGE**

Source: Kirk-Othmer, 1980

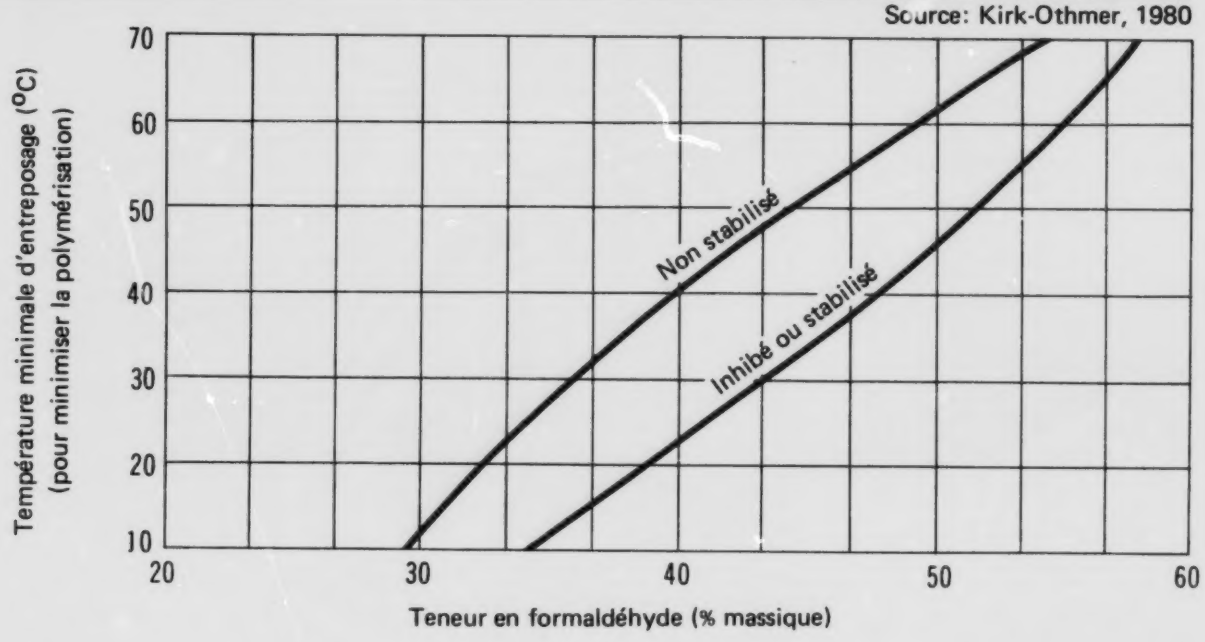
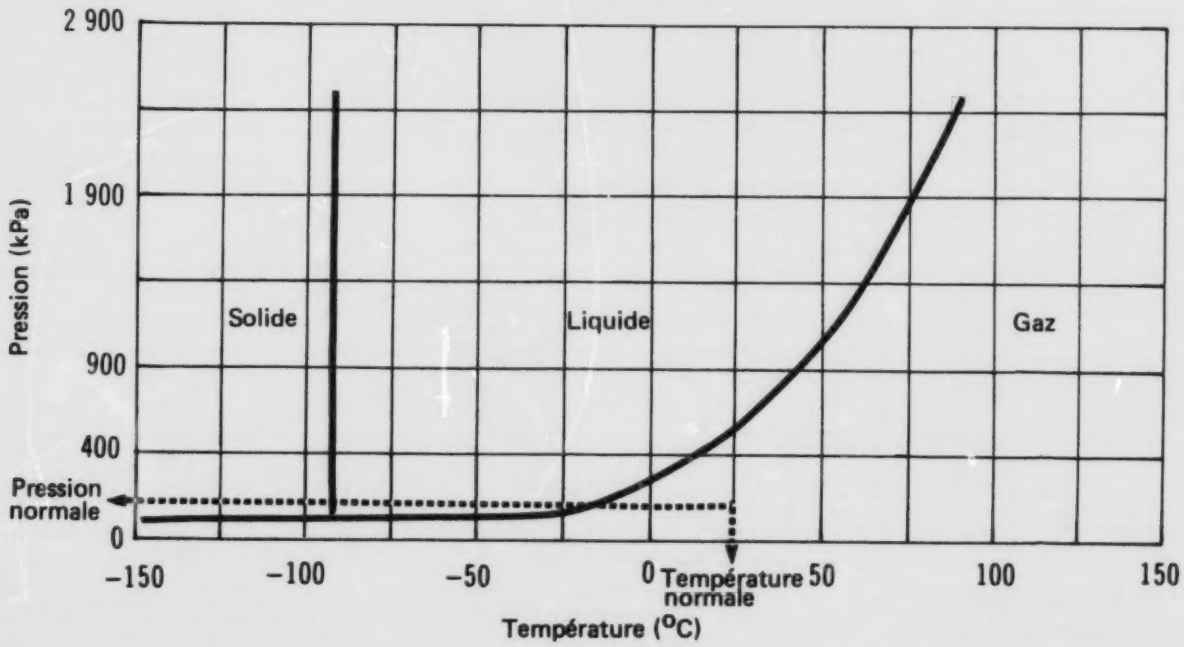


Figure 5

FORMALDÉHYDE — **DIAGRAMME DE PHASES**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres

(Celanese MSDS, 1979; Celanese PB; Corpus, 1984; Kirk-Othmer, 1980)

Le formaldéhyde se vend à des titres variant de 37 à 52 p. 100 en poids. Au Canada, comme ailleurs, le formaldéhyde est principalement produit et vendu sous forme d'une solution titrant 37 p. 100 de formaldéhyde, inhibée par du méthanol. Voici un tableau des solutions qu'on trouve couramment sur le marché.

Pourcentage massique

Formaldéhyde	37	37	37	37	44	44	45	50	52
Méthanol	1	6,5-7,5	10	12-15	1-2	6-7	1-1,5	1-1,5	1-1,5
Acidité à l'état d'acide formique (max.)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
	Non inhibé				Non inhibé		Non inhibé		

Le paraformaldéhyde se vend sous forme de flocons titrant 91 p. 100 ou sous forme de poudre titrant 95 p. 100 (le reste étant principalement composé d'eau). Le trioxane se vend généralement à des titres de 99 p. 100 et plus, sous forme de flocons ou de blocs.

3.2 Fabricants situés au Canada (Corpus, 1984; CCPA, 1981; Scott, 1979)

Les adresses qui suivent sont celles de sièges sociaux; elles ne sont pas destinées à servir comme premier recours en cas de déversement.

Bakelite Thermosets, 20 Eglinton Avenue West, Suite 1107, Toronto, Ontario, M4R 1K8, (416) 487-5521

The Borden Co. Ltd., Borden Chemical Division, 1275 Lawrence Avenue East, Don Mills, Ontario, M3A 1C5, (416) 445-3131

Celanese Canada Inc., 800, boul. Dorchester Ouest, Montréal, Québec, H3C 3K8, (514) 878-1581

Reichhold Ltd., 600 The East Mall, Islington, Ontario, M9B 4B1, (416) 622-5540

3.3 Autres fournisseurs (Corpus, 1984; CBG, 1980; Scott, 1979)

A & K Petro-Chem Industries Ltd., 710 Arrow Road, Weston, Ontario, M9M 2M1, (416) 746-2991

Arliss Chemical Co. Inc., 325, boul. Hymus, Pointe-Claire, Québec, H9R 1G8, (514) 694-2170

Benson Chemicals Ltd., P.O. Box 10, Freelton, Ontario, L0R 1K0, (416) 659-3351

Canada Colours & Chemicals Ltd., 80 Scarsdale Road, Don Mills, Ontario, M3B 2R7 (416) 924-6831

Degussa (Canada) Ltd., 3370 South Service Road, Burlington, Ontario, L7N 3M6

Du Pont Canada Inc., 555, boul. Dorchester Ouest, Montréal, Québec, H3C 2V8, (514) 861-3861
Harrisons & Crosfield (Canada) Ltd., 4 Banigan Drive, Toronto, Ontario, M4H 1G1, (416) 425-6500
Lawrason's Chemical Ltd., 180 Adelaide Street South, Box 2425, London, Ontario, N6A 4G3, (519) 686-9335
Mailloux Chemical & Dyestuff Ltd., 875, rue Selkirk, Pointe-Claire, Québec, H9R 3S2, (514) 695-8702
Mallinckrodt Canada Inc., 600, av. Delmar, Pointe-Claire, Québec, H9W 1E6, (514) 695-1220
Shefford Chemicals Ltd., 1028, rue Principale, Granby, Québec, J2G 8C8, (514) 378-0125
Stanchem Div. PPG Ind. Canada Ltd., 5029, rue Saint-Ambroise, Montréal, Québec, H4C 2E9
Winfield Chemical Industries Ltd., P.O. Box 1134, Woodstock, Nouveau-Brunswick, E0J 2B0, (506) 328-6851

3.4 Centres de production et transport

La production canadienne de formaldéhyde vient du Québec, de l'Ontario, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique. Les solutions de formaldéhyde sont expédiées partout au Canada.

3.5 Volume de production (Corpus, 1984)

Capacité nominale comparée au total des approvisionnements

Société	Emplacement de l'usine	Capacité nominale kilotonnes/an (1983)
Bakelite Thermosets	Belleville, Ont.	19
Borden Chemical	Laval, Qc	8,5
Borden Chemical	Toronto, Ont.	6,5
Borden Chemical	North Bay, Ont.	4,5
Borden Chemical	Edmonton, Alb.	10
Borden Chemical	West Vancouver, C.-B.	10
Celanese Canada	Edmonton, Alb.	50
Reichhold	Ste-Thérèse, Qc	7,5
Reichhold	North Bay, Ont.	31,5
Reichhold	Port Moody, C.-B.	8,5
Reichhold	Thunder Bay, Ont.	20
Total		176
Production nationale (1983)		116
Importations (1983)		3,2
Total des approvisionnements		119,2

3.6 Fabrication industrielle (Walker, 1964; Kirk-Othmer, 1980)

3.6.1 Information générale. - Le formaldéhyde est généralement produit par oxydation catalytique du méthanol par l'oxygène de l'air.

3.6.2 Procédé de fabrication. - Des quantités mesurées de vapeurs de méthanol et d'air sont mélangées dans une chambre de mélange. Le mélange passe par une canalisation du réacteur à un convertisseur à lit catalysé, où se produit la réaction suivante:

$$CH_3OH + 1/2O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O.$$

La réaction se fait à la pression atmosphérique à 300-650 °C, selon le système de catalyseur utilisé (système à base d'oxydes de métal ou de métaux). Le produit est refroidi et, selon les particularités du procédé utilisé, acheminé dans une unité de séparation méthanol-formaldéhyde ou encore dans une colonne d'absorption pour produire une solution de formaldéhyde à 37 p. 100. Enfin, l'acide formique est éliminé par échange ionique.

3.6.3 Sous-produits. - Le monoxyde de carbone, le diméthyléther, le dioxyde de carbone, l'acide formique et le formiate de méthyle sont des sous-produits de cette réaction.

3.7 Principales utilisations au Canada (Corpus, 1984; CCP, 1981)

Le formaldéhyde est utilisé dans la fabrication de résines phénoliques, de résines uréiques, de mélamine et de résines résorcinoliques, du pentaérythritol, d'amides adipeux, d'hexamine, de désinfectants, de germicides, de liquides d'embaumement comme agents de préservation, et dans la récupération des métaux précieux. En 1983, 35 p. 100 de la production canadienne étaient utilisés pour la production de résines uréiques; 31 p. 100, pour la production de résines phénoliques; et 24 p. 100, pour la production de pentaérythritol.

3.8 Principaux acheteurs au Canada (Corpus, 1984; CPG, 1980)

Alkanil Chemicals, Mississauga, Ont.
Almatex, London, Ont.
Bakelite Thermosets, Belleville, Ont.
Benson Chemicals, Freelton, Ont.
Canada Colours and Chemicals, Toronto, Ont.
Canadian Occidental, Fort Erie, Ont.
Canadian General Electric, Toronto, Ont.
C-I-L, Courtwright, Ont.
C-I-L, Paints, Toronto, Ont.
Cominco, Carseland, Alb.
Cyanamid Canada, Saint-Jean, Qc
Diamond Shamrock, Hamilton, Ont.
Domtar, Concord, Ont.; LaSalle, Qc
Domtex, Montréal, Qc
Fiberglas Canada, Sarnia, Ont.
GBS - Gioca, Niagara Falls, Ont.
Glidden (SCM), Toronto, Ont.
Goodyear Canada, Toronto, Ont.
Harrisons & Crosfield, Toronto, Ont.
Inmont Canada, Toronto, Ont.
Lawrason's Chemicals, London, Ont.
Lawrer Chemicals (Canada), Toronto, Ont.
Mailloux Chemicals, London, Ont.
Monsanto Canada, LaSalle, Qc
Moore Benjamin, Toronto, Ont.
PPG Industries Canada, Toronto, Ont.
Reichhold, Port Moody, C.-B.
Schenectady Chemicals, Toronto, Ont.
Shefford Chemicals, Granby, Qc
Simplot Chemical, Brandon, Man.
Stanchem Distribution, Montréal, Qc
Sterling Varnish, St. Catharines, Ont.
Uniroyal Chemicals, Elmira, Ont.
Winfield Chemical Industries, Woodstock, N.-B.

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. - Les engins-citernes utilisés pour le transport en vrac ont été groupés dans les catégories wagons-citernes et véhicules-citernes routiers. Le formaldéhyde en solution aqueuse est expédié en vrac seulement (MCA, 1960).

4.1.1.1 Wagons-citernes. - Les wagons-citernes utilisés pour le transport du formaldéhyde sont décrits au tableau 2 (TCM, 1979; RTDCR, 1974). La figure 6 montre un wagon-citerne type utilisé pour le transport du formaldéhyde; le tableau 3 donne en détail les caractéristiques de ce wagon-citerne. Pour le transport du formaldéhyde, les réservoirs doivent être doublés ou fabriqués en acier inox. Ils sont équipés pour le déchargement par pompage ou par action de la pesanteur par un orifice de déchargement par le bas d'un diamètre de 152 mm (6 po). La technique préférée est le déchargement par le haut à l'aide d'une pompe. Dans ce cas, le liquide est retiré par un tube plongeur qui va du bas du wagon-citerne à la plate-forme de dôme où il se termine par un robinet de déchargement. Aucune pression d'air n'est utilisée pour le déchargement des citernes contenant du formaldéhyde (MCA, 1960).

Tableau 2
Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour le formaldéhyde

Numéro	Description
111A60W1	Citerne en acier soudée par fusion, sans dôme. Isolée ou non isolée. Creux minimal: 2 p. 100. Indicateur de niveau. Pression d'essai: 414 kPa (60 lb/po^2).
111A60F1	Citerne en acier soudée à la forge, sans dôme. Isolée ou non isolée. Creux minimal: 2 p. 100. Indicateur de niveau. Pression d'essai: 414 kPa (60 lb/po^2).
111A100W1	Citerne en acier soudée par fusion, sans dôme. Isolée ou non isolée. Creux minimal: 2 p. 100. Indicateur de niveau. Orifice de déchargement par le bas ou orifice de lavage par le bas facultatifs. Pression d'essai: 690 kPa (100 lb/po^2).
111A60W1 (1L)	Comme 111A60W1, avec revêtement intérieur.

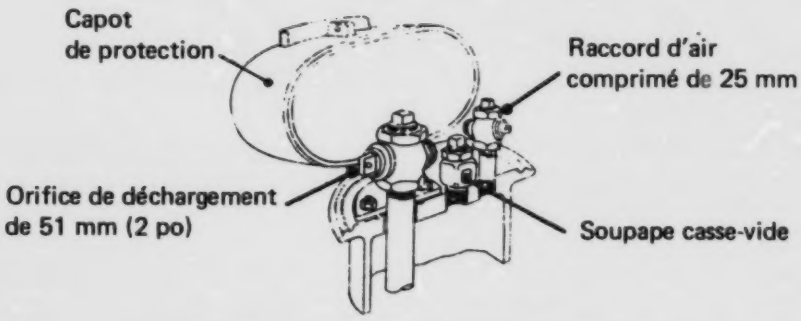
Il doit y avoir une soupape de sécurité réglée à 241 kPa (35 lb/po^2) ou un évent de sécurité réglé à 414 kPa (60 lb/po^2) sur la partie supérieure du wagon-citerne (TCM, 1979). Il doit y avoir également un indicateur de niveau, à tige ou à ruban. L'organe de déchargement par le

Figure 6

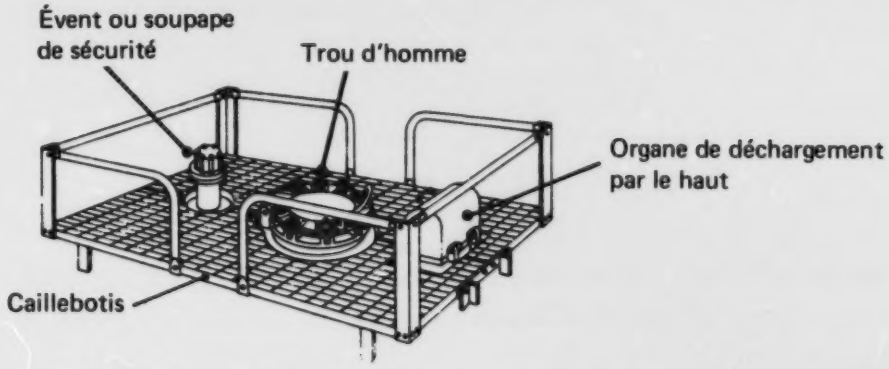
FORMALDÉHYDE

WAGON-CITERNE DE SPÉCIFICATION 111A60W1

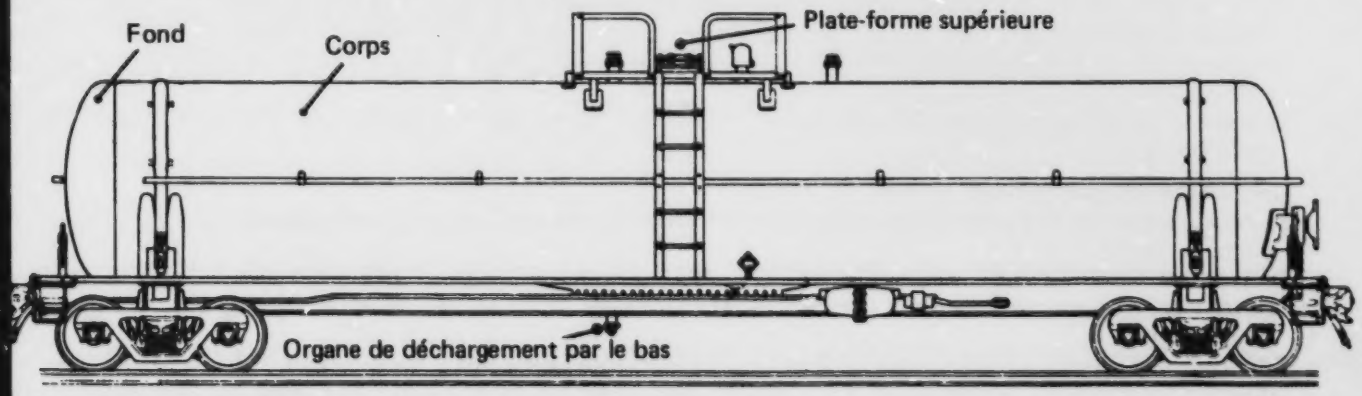
Sources: TCM, 1979; RTDCR, 1974



Détail de l'organe de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme supérieure



Principaux éléments du wagon-citerne

Tableau 3
Caractéristiques des wagons-citernes de spécification 111A60W1 utilisés pour le formaldéhyde (TCM, 1979; RTDCR, 1974)

	Capacité nominale de la citerne (gal imp.)		
Description	16 700	17 200	20 000
Structure			
Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	78 000 l (17 200 gal)	90 900 l (20 000 gal)
Tare	33 900 kg (74 700 lb)	33 900 kg (74 700 lb)	38 900 kg (85 800 lb)
Masse brute	119 000 kg (263 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Réservoir			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)
Diamètre intérieur	2,60 m (102 po)	2,62 m (103 po)	2,74 m (108 po)
Pression d'essai	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)
Pression d'éclatement	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)	17 m (57 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (53 pi)	16 m (53 pi)	17 m (57 pi)
Distance entre pivots de bogie	13 m (42 pi)	13 m (42 pi)	14 m (45 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (8 - 10 pi)	2 - 3 m (8 - 10 pi)	2 - 3 m (8 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Orifice de remplissage/ trou d'homme	203 - 356 mm (8 - 14 po)	203 - 356 mm (8 - 14 po)	203 - 356 mm (8 - 14 po)
Raccord d'arrivée d'air	25 - 51 mm (1 - 2 po)	25 - 51 mm (1 - 2 po)	25 - 51 mm (1 - 2 po)

Description	Capacité nominale de la citerne (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Déchargement par le bas			
Orifice de déchargement par le bas	102 - 152 mm (4 - 6 po)	102 - 152 mm (4 - 6 po)	102 - 152 mm (4 - 6 po)
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité		
Dôme	Aucun		
Isolation	Facultative		

haut doit être protégé par un capot. La pression maximale permise pour les wagons-citernes de spécification 111A100W1 est de 448 kPa (65 lb/po^2). Lorsqu'on utilise des wagons 111A60W1 ou 111A60F1, la pression maximale ne doit pas dépasser 276 kPa (40 lb/po^2) (TCM, 1979).

4.1.1.2 Véhicules-citernes routiers. - Le formaldéhyde est transporté dans des véhicules-citernes routiers dont les citernes sont classées dans la catégorie des récipients qui ne sont pas sous pression. La pression nominale de ces citernes ne doit pas dépasser 14 kPa (2 lb/po^2). Les véhicules-citernes routiers sont semblables aux wagons-citernes décrits plus haut. Ils sont généralement déchargés à l'aide d'une pompe branchée sur le robinet de déchargement par le haut. Il ne faut pas se servir d'air comprimé (MCA, 1960). L'équipement de déchargement et la marche à suivre sont semblables à ceux qu'on utilise pour les wagons-citernes (voir § 4.2.1).

4.1.2 Transport sous emballage. - En plus d'être transporté en vrac, le formaldéhyde est transporté en fûts, en bombonnes, en barils et en bouteilles. De nombreux matériaux sont autorisés pour la fabrication des fûts. On trouvera au tableau 4 la description de divers types de fûts utilisés (TDGC, 1980). Le paraformaldéhyde est généralement transporté dans des sacs, des fûts en carton munis d'une doublure ou des caisses. Le trioxane est transporté dans des fûts en carton munis d'une doublure ou sous forme de blocs de 25 kg (50 lb) dans des cartons doublés de polyéthylène.

Tableau 4
Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport du formaldéhyde

Catégorie	Code	Description	Figure
Acier	1A1	Dessus non amovible; réutilisable	7
	1A1A	1A1 avec rebords renforcés	7
	1A1B	1A1 avec collerette de fermeture soudée	7
	1A1D	1A1 avec revêtement intérieur (autre que le plomb)	
	1A2	Dessus amovible; réutilisable	7
	1A3	Dessus non amovible; non réutilisable	7
Monel*	TC5M		
Aluminium	1B1	Dessus non amovible	7
	1B2	Dessus amovible	7
Fût en acier avec récipient intérieur en matière plastique	6HA1	Tôle extérieure en acier en forme de fût. Récipient intérieur en matière plastique. Contenance de 225 litres (49 gal).	
Fût en carton avec récipient intérieur en matière plastique	6HG1	Récipient extérieur en carton fait de feuilles convolutées. Récipient intérieur en matière plastique en forme de fût. Contenance de 225 litres (49 gal).	

* Voir section 4.3

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes. - Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre les précautions suivantes (MCA, 1960):

- S'assurer que le réservoir de stockage peut recevoir le contenu du wagon-citerne;
- Si le déchargement se fait la nuit, les dispositifs d'éclairage doivent être antidéflagrants;
- Les employés ne doivent en aucun cas pénétrer dans le wagon;
- Les freins doivent être serrés et les roues, calées; des dérailleurs, mis en place; et les écriteaux d'avertissement, installés;
- Un quai de service offrant toutes les conditions de sécurité doit exister au poste de déchargement;
- Les outils utilisés pour le déchargement doivent être antidéflagrants;
- S'assurer que le wagon est mis à la terre.

Il y a deux façons de décharger les wagons-citernes: par le haut et par le bas.

Pour le déchargement par le haut, suivre les étapes suivantes (MCA, 1960):

- Par temps froid, maintenir la température au-dessus de la température minimale indiquée;
- Après avoir soulevé le capot de protection de l'organe de déchargement situé sur le dessus du wagon, raccorder la conduite de transvasement de 51 mm (2 po);
- Décharger la citerne au moyen d'une pompe seulement.

Pour le déchargement par le bas, suivre les étapes suivantes en utilisant une pompe, ou effectuer le déchargement par l'action de la pesanteur:

- Après avoir raccordé la conduite de transvasement à l'orifice de déchargement de 152 mm (6 po) au bas de la citerne, ouvrir le robinet intérieur du bas en tournant la poignée de la tige de commande située sur le dessus du wagon-citerne;
- Décharger la citerne par l'action de la pesanteur ou au moyen d'une pompe.

4.2.2 Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement. - Les matériaux de fabrication des divers éléments du système de déchargement, de même que les spécifications relatives à ce système, sont ceux qui prévalent généralement dans le transport du formaldéhyde. Dans certains cas, d'autres matériaux peuvent être utilisés, comme il est indiqué au tableau 5. Les éléments d'un système de déchargement type sont les conduites et les raccords, les assemblages souples, les robinets, les joints d'étanchéité et les pompes.

Les conduites et les raccords en acier allié sans soudure ASTM 106 n° 40 garnis de résine de polyéther chloré sont recommandés pour la tuyauterie de transvasement du formaldéhyde (DCRG, 1978). Il faut utiliser des raccords à brides à souder de préférence aux raccords filetés qui ont tendance à fuir après un service de courte durée. La réduction de la contrainte aux points de soudure permettra une plus longue durée de service.

La conduite de transvasement devrait avoir un diamètre de 51 mm (2 po) puisque c'est la taille standard des raccords sur les wagons-citernes utilisés pour le transport du formaldéhyde, mais elle peut être de n'importe quel diamètre. On déconseille toutefois l'utilisation de conduites dont le diamètre serait inférieur à 25 mm (1 po). L'auto-drainage est indispensable pour les conduites extérieures.

Des joints de dilatation flexibles du type à soufflet doivent être utilisés pour les sections flexibles de la conduite de transvasement. Ils sont fabriqués avec des brides de fer ductile ASA pourvues d'organes expansibles moulés en résine de tétrafluoroéthylène (DOW PPS, 1972). On peut se servir de canalisations en aluminium ou en acier inox, ou encore de flexibles pour le transvasement (Law, 1982).

Les robinets à membrane en fonte ou en acier coulé avec garniture intérieure de résine de polyéther chloré ou de résine de fluorure de polyvinylidène donneront un service adéquat (DOW PPS, 1972). À des températures normales, seul le viton peut être utilisé comme matériau de garniture (DCRG, 1978).

Une pompe volumétrique aspirante à admission simple, dont l'extrémité d'admission est faite d'acier inox 316, donne de bons résultats (HIS, 1969). Il faut prévoir un moyen de purger la pompe afin que les réparations puissent être faites en toute sécurité. La pompe doit être munie de brides aux orifices d'aspiration et de refoulement; il est préférable d'éviter les raccords filetés, qui sont sujets aux fuites.

La température à l'intérieur des réservoirs de stockage en acier inox ou en acier au carbone doublé doit être contrôlée, étant donné qu'il y a précipitation de polymères à basse température et qu'il peut y avoir émission de gaz nocifs à température élevée (MCA, 1960).

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

Le tableau 5 porte sur la compatibilité entre le formaldéhyde et certains matériaux de fabrication. Les termes utilisés pour évaluer les matériaux sont définis ci-dessous.

Recommandé: donne satisfaction dans l'utilisation présente;

Réserves: se détériore dans l'utilisation présente; approprié dans le cas d'une utilisation intermittente ou de courte durée;

Déconseillé: se détériore rapidement dans l'utilisation présente; ne devrait jamais être utilisé.

Tableau 5
Compatibilité entre le formaldéhyde et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Titre (%)	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords	37	52	PVDC PVDF (DCRG, 1978)		
		66			Acier inox 304 (Celanese PD)
		93	Polypropylène (DCRG, 1978)		
		107	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
		Toutes	Acier inox 316 (Celanese PD)		
	50	52	PVDC (DCRG, 1978)		
		93	Polypropylène (DCRG, 1978)		
		107	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	La plupart	23	PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)	
		60		PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)
		24	Polyéthylène (MWPP, 1978)		
		Jusqu'aux limites de fonctionnement du matériau	PVC I* Acrylonitrile-butadiène-styrène (MWPP, 1978) Acier inox (MCA, 1960)		
2. Robinetterie	Tous	Froide et d'ébullition	Alliage "20" Acier inox 316 (JSSV, 1979)		
3. Pompes	Tous	49	GRP avec joint torique en caoutchouc fluoré Tout en bronze Aciers inox 304 et 316 (HIS, 1969)		
4. Réservoirs de stockage	La plupart	< 50	Acier inox Acier au carbone doublé Aluminium (MCA, 1960)	Acier au carbone Cuivre (MCA, 1960)	
	Tous	< 66	Aciers inox 304, 316, 347 Acier au carbone doublé (Kirk-Othmer, 1980)		
		> 66			Acier inox 304 (Celanese PD)

Tableau 5
Compatibilité entre le formaldéhyde et certains matériaux de fabrication (cont.)

Utilisation	Titre (%)	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
5. Autres	37	21	PVDF (TPS, 1978)		
		22	CPVC (TPS, 1978)		
		60	PVC (TPS, 1978)		
		66		Polypropylène (TPS, 1978)	
		85			CPVC (TPS, 1978)
	40	60	uPVC, polyéthylène, polypropylène, polyoxyméthylène, caoutchouc naturel*, NBR*, IIR, EPDM*, polychloroprène, caoutchouc fluoré, polyéthylène chlorosulfoné* (GF)		
		D'ébullition	Aciers inox 302, 304, 316 et 430 (ASS)	Acier inox 410 (ASS)	
	20		Caoutchouc de styrène-butadiène, IIR, polyéthylène chlorosulfoné EPDM (GPP)	Caoutchouc naturel	Polychloroprène, caoutchouc d'acrylonitrile-butadiène (GPP)
		70			Caoutchouc naturel, caoutchouc de styrène-butadiène, polychloroprène, polyéthylène chlorosulfoné, EPDM (GPP)
	10 à 70, 100	24 à 100	Verre (CDS, 1967)		
	80	24	Verre (CDS, 1967)		
	10 à 30				Béton (CDS, 1967)
	100	24			
	20	24 à 52	Bois (CDS, 1967)		
	100	24		Bois (CDS, 1967)	

* Ce matériau a reçu une cote inférieure, pour une utilisation similaire, dans un autre ouvrage de référence.

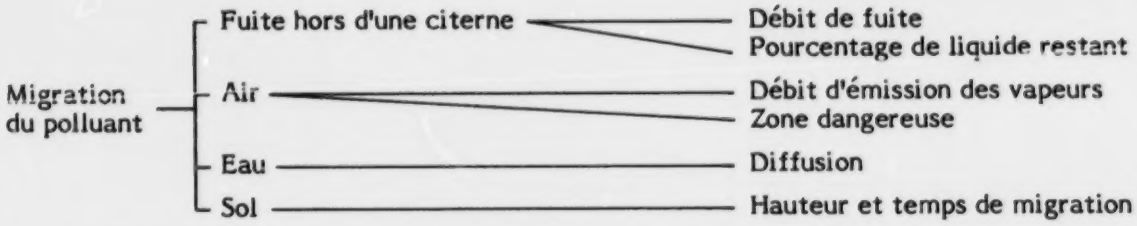
CPVC, chlorure de polyvinyle chloré; EPDM, caoutchouc d'éthylène-propylène; GRP, ester de vinyle renforcé de fibres de verre; IIR, caoutchouc d'isobutylène-isoprène; PVC, chlorure de vinyle; PVDC, chlorure de polyvinylidène; PVDF, fluorure de polyvinylidène; uPVC, chlorure de polyvinyle non plastifié.

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

Le formaldéhyde est généralement transporté sous forme de solution aqueuse titrant 30 à 52 p. 100, dans des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers. Déversé dans l'eau, le formaldéhyde en solution se mélange à l'eau. Déversé sur le sol, le liquide se répand à la surface, puis pénètre dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et la teneur en eau de ce dernier. La migration possible du formaldéhyde jusqu'à la nappe phréatique représente un danger pour l'environnement. Par ailleurs, l'évaporation du liquide déversé entraîne l'émission en continu de vapeurs dans l'air.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a fuite et migration du produit.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques selon les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. - Le formaldéhyde en solution est généralement transporté dans des wagons-citernes qui ne sont pas sous pression. Les modèles de wagons-citernes varient beaucoup, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de la fuite. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et peut contenir environ 80 000 litres.

S'il y a perforation, au-dessous du niveau du liquide, de la paroi de la citerne remplie de formaldéhyde, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Comme les citernes ne sont pas sous pression et comme le produit est peu volatil, aucun nomogramme n'a été élaboré sur la fuite de vapeurs par un orifice qui serait situé au-dessus du niveau du liquide.

Dans le cas d'un orifice situé au-dessous du niveau du liquide, le débit de sortie, en l'occurrence le débit de fuite, se calcule par la méthode dite des orifices, qui consiste en une formule corrigée du théorème de Torricelli. Le débit de fuite q, qui est un débit-volume, est fonction de la surface de la section s et de la forme de l'orifice, de la hauteur h de liquide au-dessus de l'orifice et du coefficient de débit (Streeter, 1971).

Comme la force de la pesanteur est souvent supérieure aux forces qui s'y opposent, dont la viscosité, le coefficient de débit est relativement indépendant de la température et de la viscosité du liquide. Dans le cas présent, le coefficient de débit est vraisemblablement constant pour un large éventail de températures et de viscosités. Pour préparer les nomogrammes, on a supposé un coefficient de débit constant de 0,8.

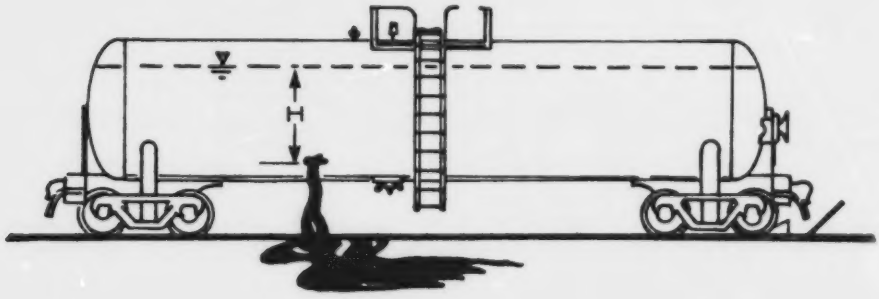


Figure 7 ORIFICE AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE

5.2.2 Nomogrammes de la fuite

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. - La figure 8 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment de la perforation et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne type contient 80 000 litres de liquide et qu'il est plein au moment de la perforation. Le volume de liquide restant, après un temps *t* écoulé donné, n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.2.2 Débit de fuite en fonction du temps écoulé. - La figure 9 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps t écoulé donné, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu perforation d'un wagon-citerne type rempli de formaldéhyde. L'orifice est situé dans le bas de la citerne, au-dessous du niveau du liquide. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir figure 8): si t = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (soit 28 800 l) du volume initial.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané 10 minutes, après la perforation? Solution (voir figure 9): si t = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané q = 70 l/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. - Comme le formaldéhyde en solution est relativement peu volatil, une fuite de vapeurs dans l'atmosphère à partir d'un orifice dans la paroi d'une citerne ne présente aucun danger important du côté sous le vent. Il ne sera question dans le présent ouvrage que des vapeurs émises par une nappe de liquide répandu sur le sol ou à la surface de l'eau.

Pour évaluer les teneurs en polluant du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) dans l'atmosphère des vapeurs. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

La figure 10 schématise la diffusion d'un panache polluant émis en continu par une aire source. Le modèle de diffusion assimile l'aire source, soit la nappe de liquide, à un point source théorique (possédant le même débit d'émission de vapeurs q), situé en amont, à une distance équivalant à dix fois le rayon de la nappe.

5.3.2 Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs. - Les nomogrammes de la diffusion atmosphérique du panache servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et de l'inflammabilité. Les nomogrammes, figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Figure 8

FORMALDÉHYDE (en solution titrant 37 %)

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

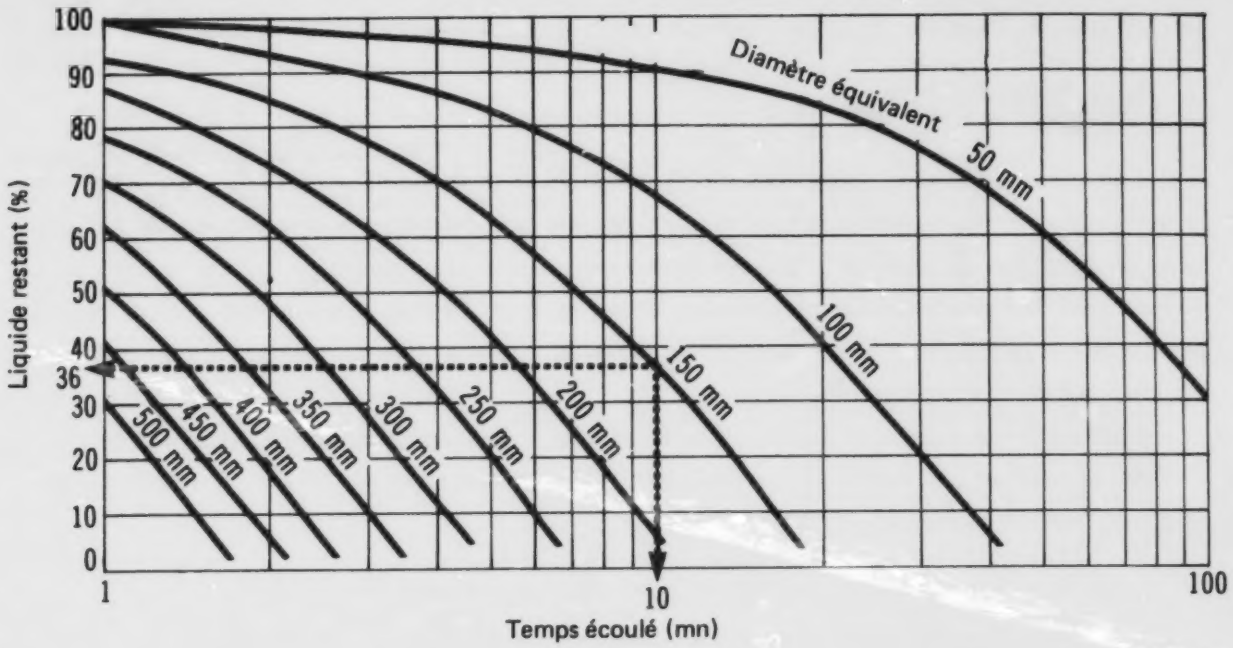


Figure 9

FORMALDÉHYDE (en solution titrant 37 %)

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

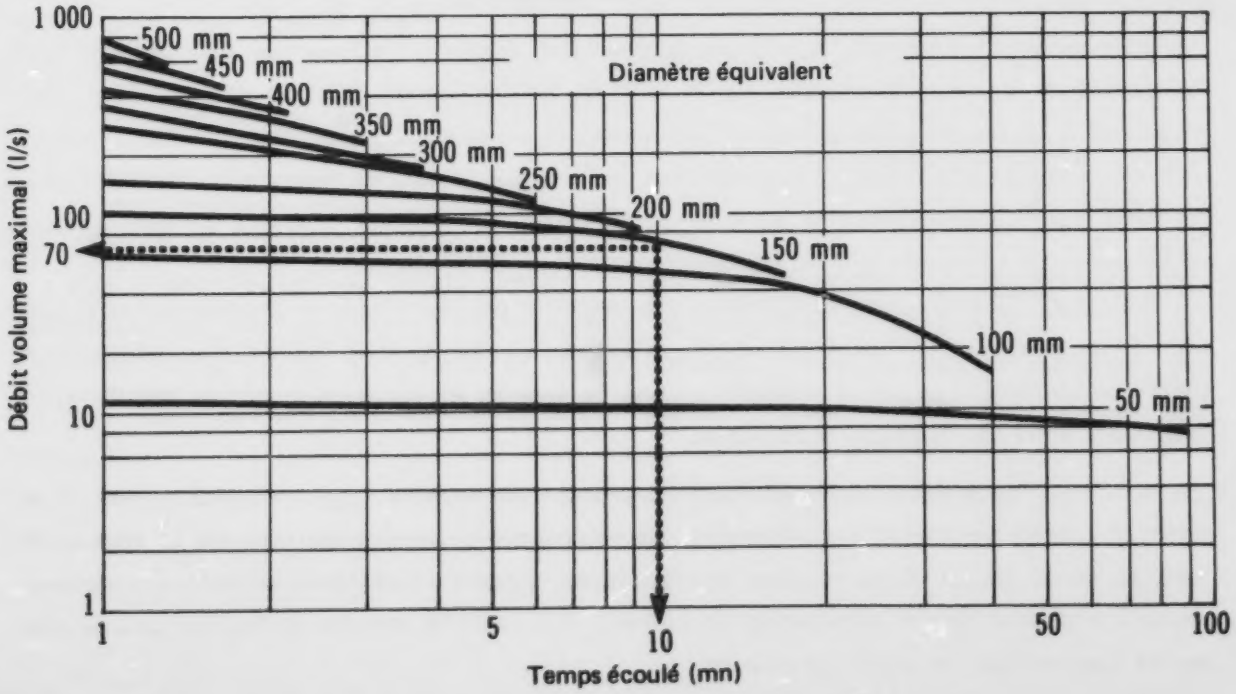


Figure 10

FORMALDÉHYDE

FORMATION D'UN PANACHE DE VAPEURS

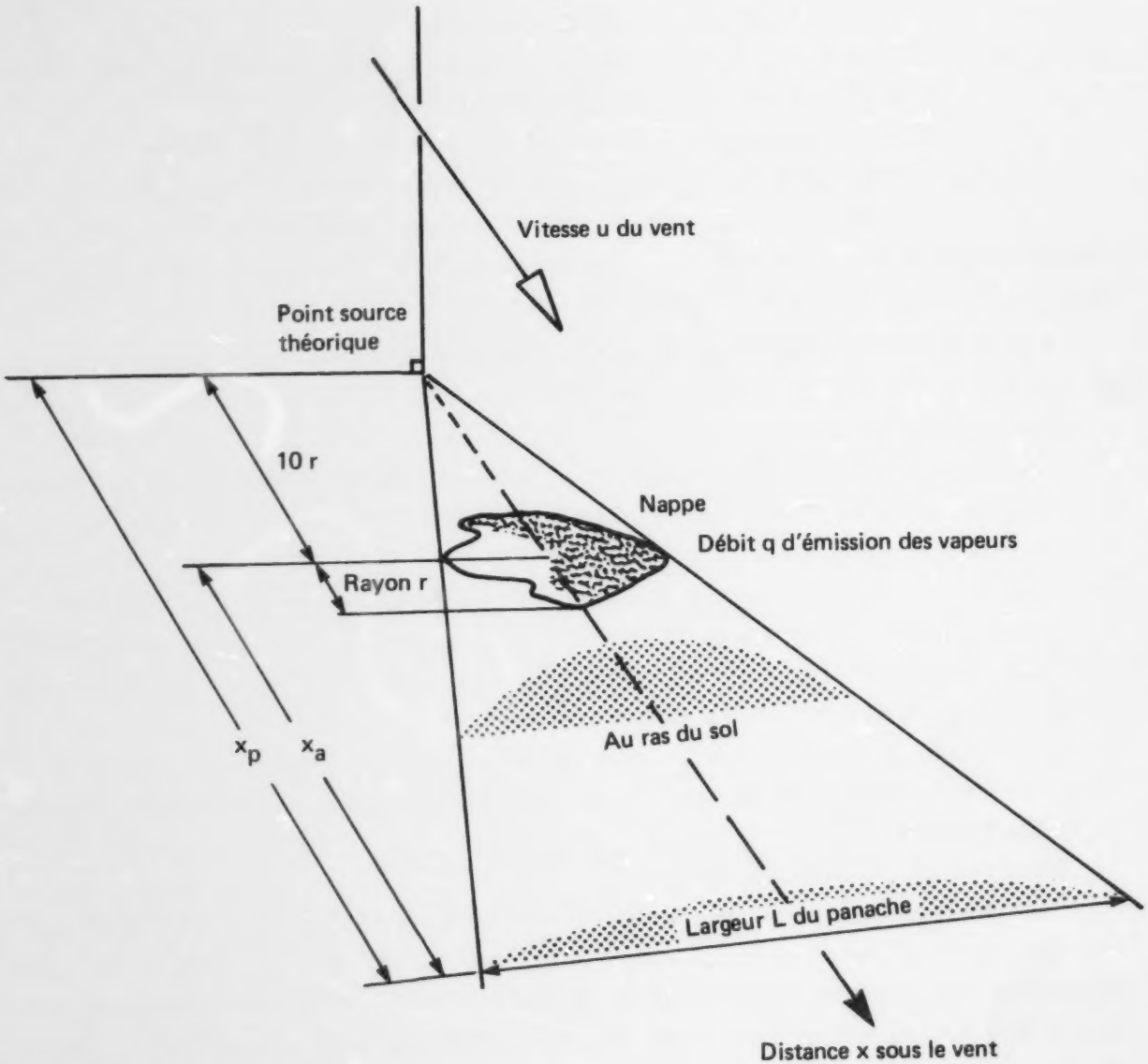


Figure 12 Débit d'émission des vapeurs se dégageant d'une nappe liquide, calculé en fonction du rayon maximal de la nappe.

Tableau 6 Catégories météorologiques (de stabilité)

Figure 13 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories météorologiques

Tableau 7 Demi-largeur maximale du panache dangereux

Figure 16 Distance parcourue par le panache, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

La figure 11 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de la diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température. - Le *Manuel d'introduction Enviroguide* fournit des équations sur la vitesse d'évaporation permettant de calculer la vitesse d'évaporation propre au formaldéhyde en solution titrant 37 p. 100. À une température de 20 °C et sous un vent de 4,5 m/s (16,1 km/h), cette vitesse est de 0,015 g/(m^2s). D'autres vitesses ont été calculées à l'aide d'une équation qui, pour un vent donné, tient compte de la température ambiante et de la tension de vapeur de la solution (CHRIS, 1978) à cette température. Ainsi, pour un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s, la vitesse d'évaporation est de 3,6 x 10^{-3} g/(m^2s) à 0 °C, alors qu'elle est de 0,021 g/(m^2s) à 30 °C. Il faut remarquer que dans le cas d'un déversement réel l'émission de vapeurs de formaldéhyde émises par la nappe de liquide déversé abaisse la teneur en formaldéhyde de la phase liquide et, avec le temps, abaisse la vitesse d'évaporation du formaldéhyde. L'utilisation de la valeur de la teneur initiale en formaldéhyde représente donc le pire cas possible.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

Pour une nappe de rayon connu, le débit q d'émission des vapeurs dans l'atmosphère à une température donnée peut être évalué à l'aide de la figure 12. Les segments continus des droites représentent des quantités déversées allant de 0,05 à 86 tonnes, ce dernier chiffre correspondant à peu près au volume type de 80 000 litres (17 600 gal imp.) contenu dans un wagon-citerne chargé de formaldéhyde. Le lecteur notera que la figure 12 vaut pour une vitesse du vent de 4,5 m/s (16,1 km/h); elle ne permet donc qu'une évaluation approximative du débit d'émission pour toute autre vitesse du vent. En revanche, le *Manuel d'introduction Enviroguide* fournit l'équation qui permet d'établir la vitesse d'évaporation pour une vitesse de vent donnée à partir de la valeur pour une vitesse de 4,5 m/s.

Figure 11

FORMALDÉHYDE
(en solution titrant 37 %)

ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE

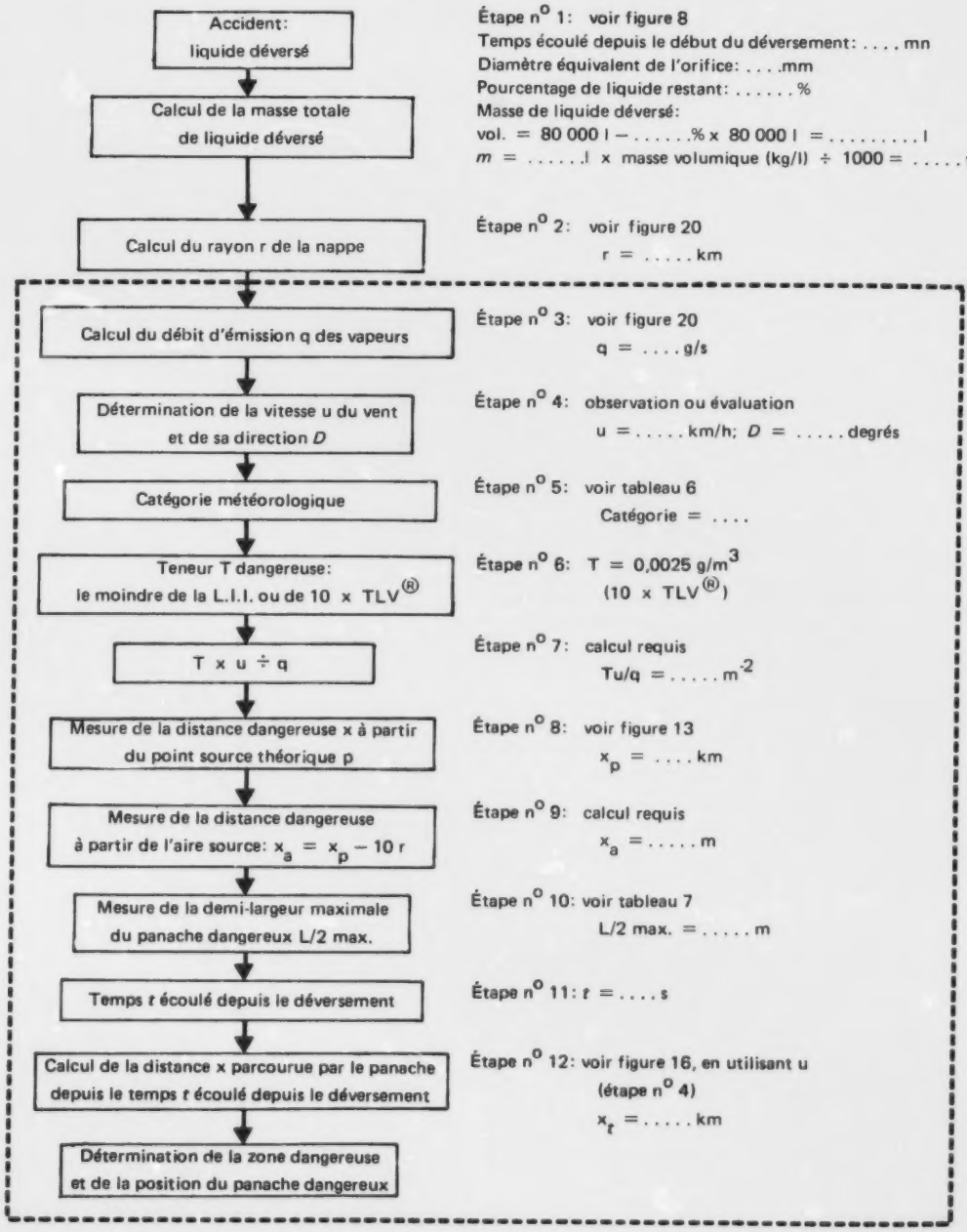
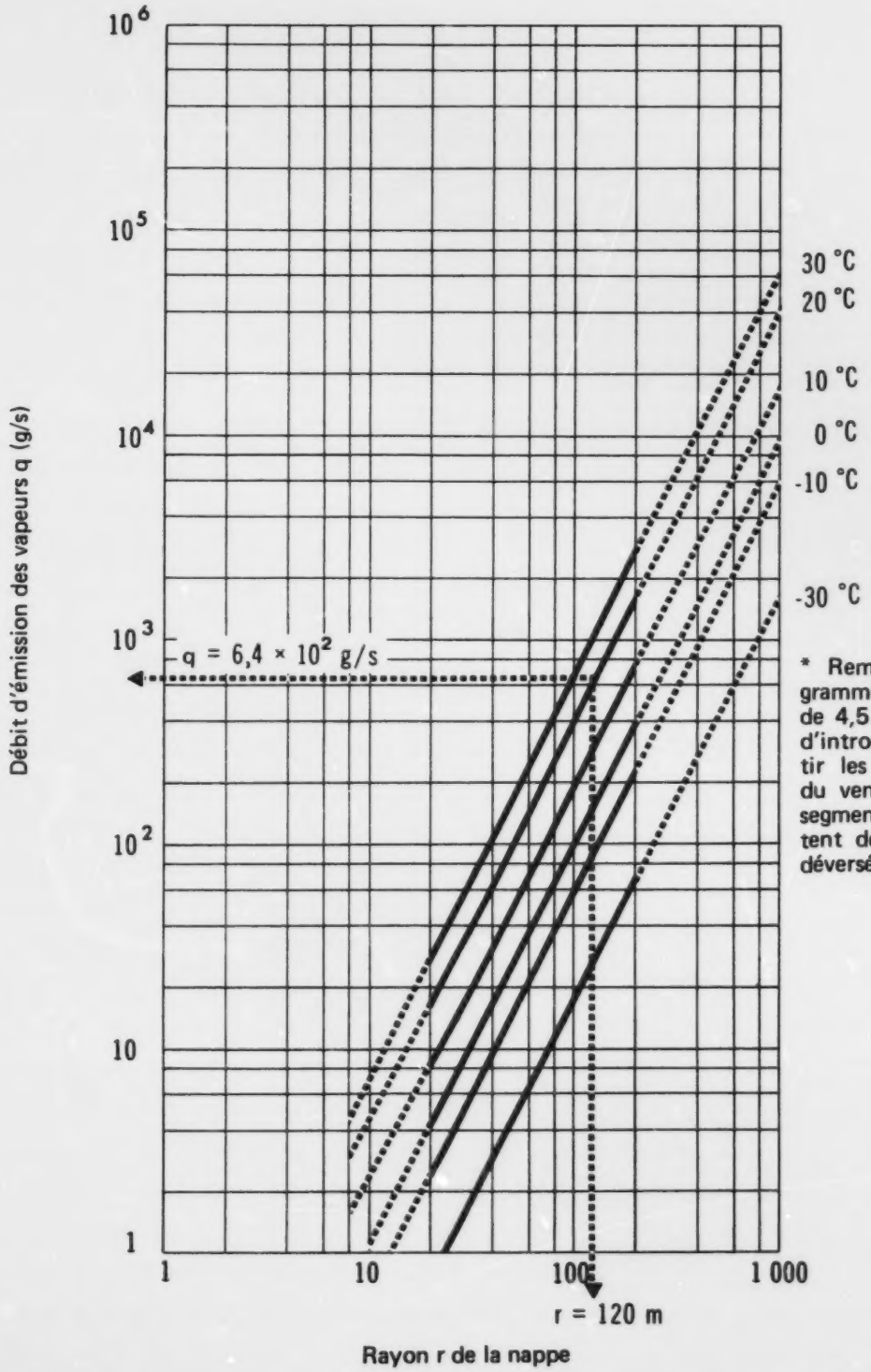


Figure 12

FORMALDÉHYDE (en solution titrant 37 %)

DÉBIT D'ÉMISSION DES VAPEURS À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES* EN FONCTION DU RAYON DE LA NAPPE



* Remarque — Le nomogramme vaut pour un vent de 4,5 m/s. Voir le manuel d'introduction pour convertir les valeurs si la vitesse du vent est différente. Les segments continus représentent des masses de liquide déversé de 0,5 à 80 tonnes.

Le calcul du débit d'émission est basé sur le rayon d'une nappe à la surface d'un plan d'eau (étendue d'eau calme) (tableau VI, CHRIS, 1974). Le rayon choisi est à mi-chemin entre celui du benzène (liquide modérément volatil) et celui du nitrite d'iso-amyle (liquide non volatil). Ce modèle a été choisi pour des liquides miscibles à l'eau et dont le point d'ébullition est supérieur à la température ambiante, ainsi que pour certains liquides organiques miscibles ou non à l'eau non mentionnés dans CHRIS (CHRIS, 1974). Comme un plan d'eau présente une surface plane et unie, ce qui est rarement le cas lorsqu'il y a un déversement sur terre (sol poreux et irrégulier), on obtient un rayon maximal, donc des valeurs maximales. Si l'on applique l'algorithme calculé pour un plan d'eau à un déversement sur terre, le rayon sera plus grand qu'en réalité et les valeurs obtenues seront celles qui s'appliquent à des cas extrêmes.

5.3.2.2 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. - La figure 13 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories météorologiques D et F. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée Tu/q au niveau du sol le long de la médiane du panache schématisé. La catégorie F est la moins propice à la diffusion du panache; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 6) avant d'utiliser la figure 13.

Tableau 6
Catégories météorologiques (de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (≃ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	S'applique à toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 13, si l'on possède les données suivantes:

Débit q d'émission des vapeurs, en g/s;

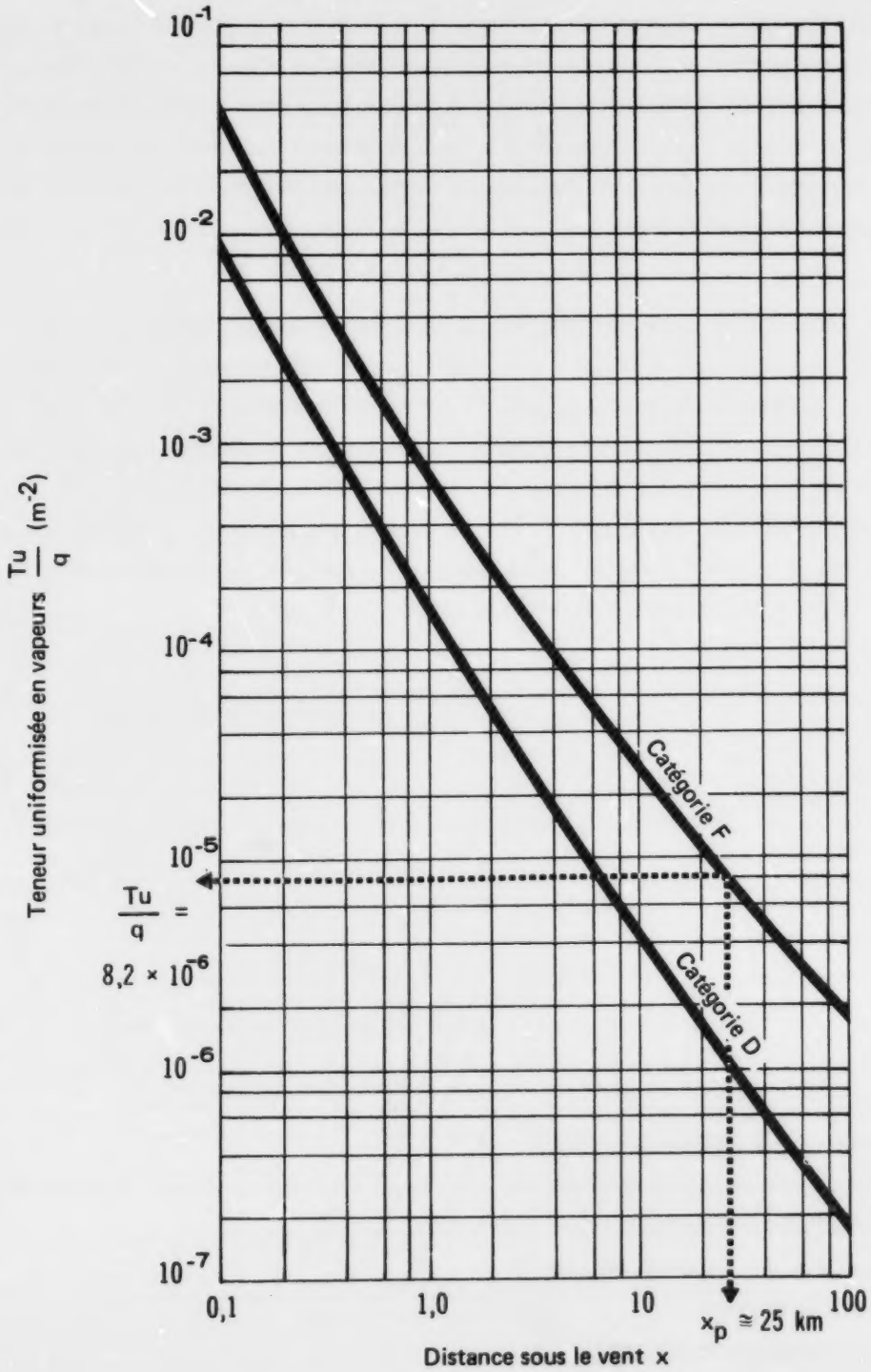
Vitesse du vent u, en m/s;

Catégorie météorologique (de stabilité);

Figure 13

FORMALDÉHYDE

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT



Teneur T dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la TLV• (exprimée en g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (exprimée en g/m^3). Pour convertir la TLV• (ppm) et la L.I.I. (pourcentage volumique) en teneurs exprimées en g/m^3, utiliser les figures 14 et 15.

Dans le cas présent, comme il est prévisible que la valeur de la TLV• sera abaissée en fonction de ce que l'on découvre sur la carcinogénicité du formaldéhyde, les auteurs ont choisi d'utiliser pour les besoins des présents calculs la valeur actuelle de la TLV•, soit 0,0015 g/m^3, sans la multiplier par 10.

5.3.2.3 Demi-largeur maximale du panache dangereux. - Le tableau 7 présente des valeurs de la demi-largeur maximale L/2 max. du panache pour une plage de valeurs q/u, en fonction des conditions de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*, pour une TLV• de 0,0015 g/m^3. La demi-largeur du panache dangereux représente la demi-largeur du nuage de vapeurs de formaldéhyde, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur limite égale à la TLV•. Le tableau 7 ne s'applique donc que dans le cas d'une teneur limite de 0,0015 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 km.

La catégorie D comporte une plage de vitesses du vent qui s'étend de 1 à 30 m/s. Quant à la plage des débits d'émission q utilisée, elle va de 300 à 17 500 g/s, ce qui correspond à une plage de masses déversées comprises entre 6 et 5000 tonnes. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) du wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 86 400 kg (soit environ 86 tonnes). Le tableau 7, pour la catégorie D, fournit des valeurs calculées en fonction de masses jusqu'à 58 fois plus considérables.

Pour la catégorie F, la plage de vitesse du vent u va de 1 à 3 m/s. Quant à la plage de débits d'émission q utilisée, elle va de 30 à 1500 g/s, ce qui correspond à une plage de masses déversées comprises entre 0,3 et 80 tonnes. Le tableau 7, pour la catégorie F, fournit des chiffres calculés en fonction d'une masse presque égale au contenu d'un wagon-citerne standard.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

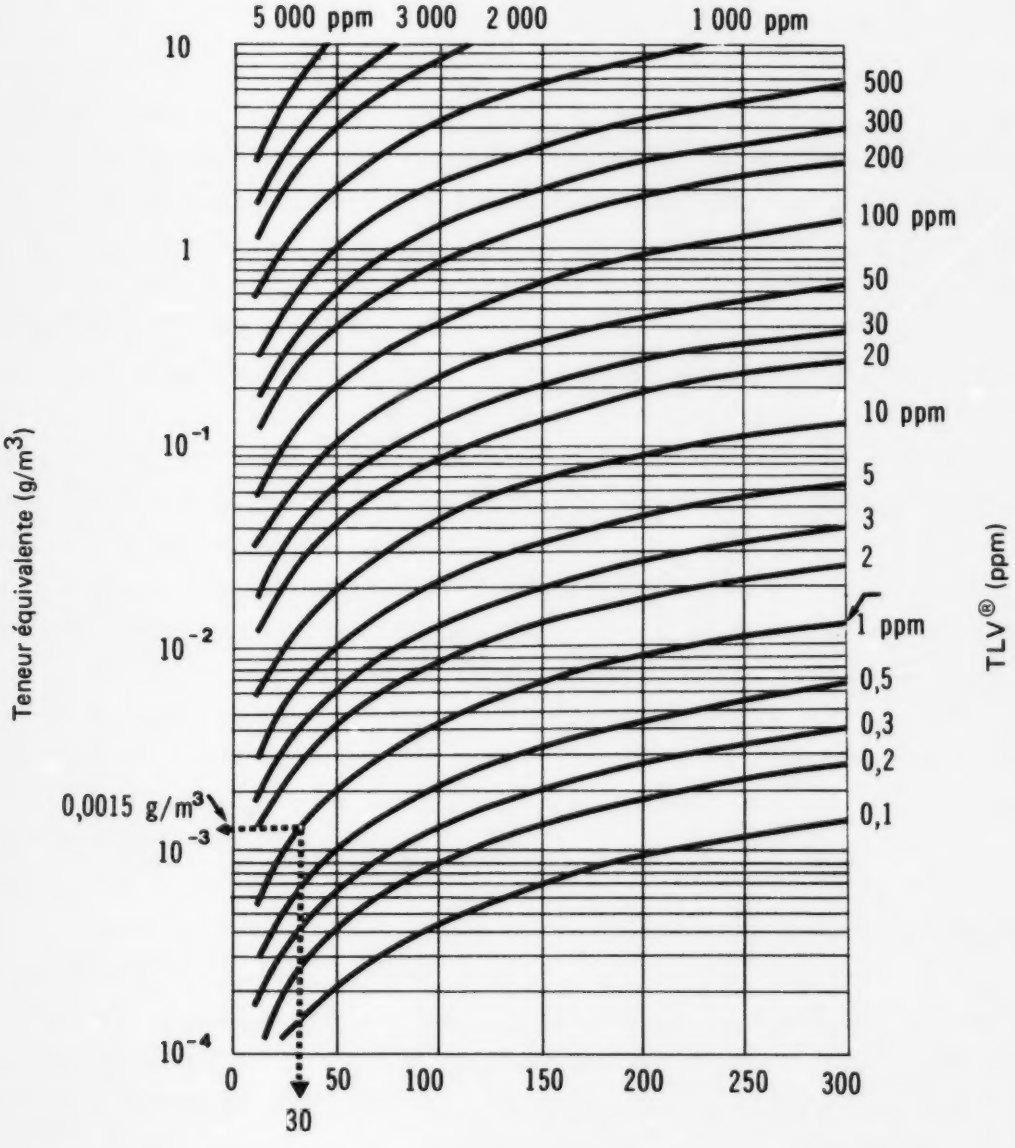
À partir de valeurs connues de q et de u et en fonction d'une catégorie météorologique donnée, calculer q/u. Choisir la valeur q/u la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante, en mètres. Pour obtenir un résultat un peu plus précis, déterminer par interpolation les valeurs q/u et L/2 max. (Voir également l'exemple qui accompagne le tableau 7.)

5.3.2.4 Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé. - La figure 16 indique la distance x parcourue par le panache après un temps *t* de déplacement pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent fréquentes.

Figure 14

FORMALDÉHYDE

CONVERSION DES UNITÉS DE LA TLV® (ppm en g/m³)



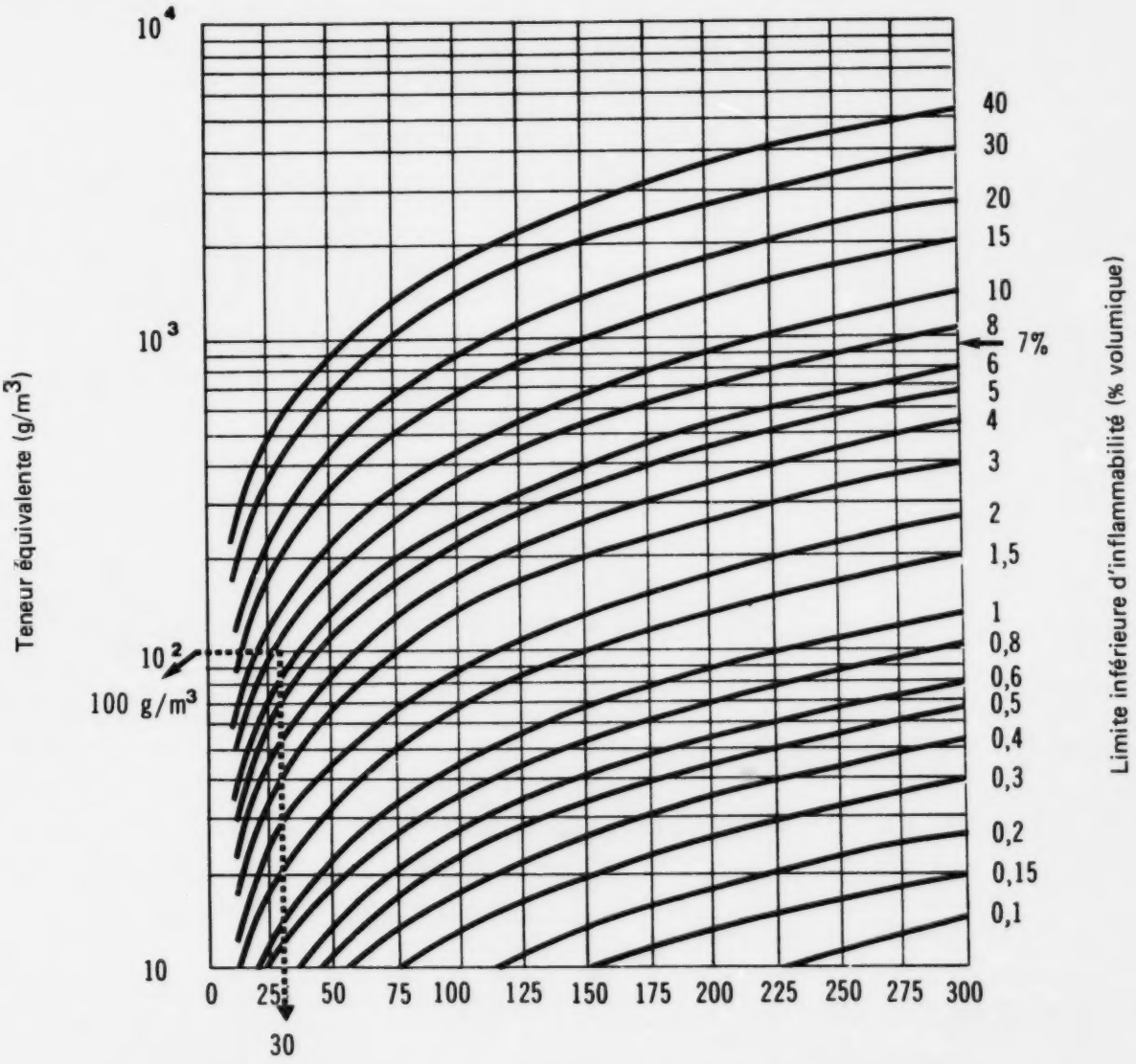
Exemple. — Masse moléculaire du formaldéhyde = 30; TLV®= 1 ppm;
alors TLV® en g/m³ = 0,0015.

Note. — Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Figure 15

FORMALDÉHYDE

CONVERSION EN GRAMMES PAR MÈTRE CUBE DU POURCENTAGE VOLUMIQUE DE LA LIMITE INFÉRIEURE D'INFLAMMABILITÉ



Exemple. — Masse moléculaire du formaldéhyde = 30; L.I.I. = 7 %; alors L.I.I. en g/m^3 = 100.

Note. — Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Tableau 7
Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs de formaldéhyde en solution titrant 37 p. 100 (à 20 °C)

Catégorie météorologique D			Catégorie météorologique F		
q/u (g/m)	L/2 max. (m)		q/u (g/m)	L/2 max. (m)	
17 500	3430	(99,5 km)*	1500	1430	(99,5 km)*
15 000	3115		1250	1250	
12 500	2785		1000	1060	
10 000	2425		750	855	
7 500	2030		500	630	
5 000	1580	q/u = 305 →	300	430	→ L/2 max. = 430
3 750	1320		250	375	
2 500	1030		200	325	
2 000	895		150	270	
1 500	750		100	210	
1 250	670		50	135	
1 000	585		25	85	
750	500		10	50	
500	395				
300	290				
250	260				
200	230				
150	195				
100	155				
50	100				
25	70				
10	40				

* Les données valent pour une distance maximale sous le vent de 100 km.

Exemple. - Une nappe de formaldéhyde en solution dégage des vapeurs à un débit q = 640 g/s, dans des conditions météorologiques de catégorie F; si la vitesse du vent u = 2,1 m/s, alors q/u = 305 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale L/2 max. du panache dangereux de 430 m.

Note. - Le tableau ci-dessus ne vaut que pour une teneur de 0,0015 g/m^3 (TLV•).

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse u du vent et le temps *t* de déplacement du panache étant connus, la distance parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 Étapes du calcul. - L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse sous le vent à partir du lieu où se produit un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur, dans un cas de déversement réel, se serve de données connues ou observables (par exemple en ce qui concerne le rayon de la nappe).

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de formaldéhyde ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse *m* de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Calculer le rayon r de la nappe.

Utiliser le rayon mesuré sur place si cela est possible.

Sinon, utiliser le rayon maximal calculé en fonction d'une épaisseur de la nappe de 2 mm.

$r = 120 \div 1000 = 0{,}12$ km.

Étape 3 Calculer le débit d'émission q à temp. = 20 °C.

$r = 120$ m et temp. = 20 °C, $q = 6{,}4 \times 10^2$ g/s.

Étape 4 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction *D*.

Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:

$u = 7{,}5$ km/h; alors $u = 7{,}5 \div 3{,}6 = 2{,}1$ m/s;

D = N.-O. ou 315° (*D* = direction d'où souffle le vent).

Étape 5 Déterminer la catégorie météorologique.

Le tableau 7 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque u < 11 km/h et que le déversement se produit au cours de la nuit.

Étape 6 Déterminer la teneur T dangereuse limite.

Il s'agit de la valeur la moindre entre la TLV• et la limite inférieure d'inflammabilité dans le cas du formaldéhyde, donc:

$T = 0{,}0015$ g/m^3 (TLV•) (L.I.I. = 100 g/m^3)

Étape 7 Calculer Tu/q.

$$Tu/q = \frac{0{,}0015 \times 2{,}1}{640} = 8{,}2 \times 10^{-6}\ m^{-2}.$$

Étape 8 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p théorique.

Voir figure 13. Pour une catégorie F de conditions météorologiques,

si $Tu/q = 8{,}2 \times 10^{-6}\ m^{-2}$, $x_p \simeq 25$ km.

Étape 9 Calculer la distance dangereuse maximale du côté sous le vent x à partir de l'aire source a.

Comme $x_p = 25$ km et $r = 0{,}12$ km,

$x_a = x_p - 10\ r = 25\ km - 10(0{,}12\ km) = 23{,}8$ km.

Étape 10 Calculer la demi-largeur maximale du panache dangereux.

Se servir du tableau 7. Comme q = 640 g/s et u = 2,1 m/s,

$q/u = \frac{640}{2,1} = 305$ g/m.

Pour la catégorie F de conditions météorologiques, la valeur de q/u la plus proche est de 300 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale d'environ 430 m.

Étape 11 Déterminer le temps *t* écoulé depuis le début du déversement.

t = 5 mn x 60 = 300 s.

Étape 12 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le panache depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 16. Comme *t* = 300 s et u = 7,5 km/h,

x_t = 0,6 km (plus précisément: ut = 2,1 m/s x 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 13 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale du panache dangereux (430 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir de l'aire source, soit 23,8 km, et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 17).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°) le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 18.

Note. - Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, le panache a franchi 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 185 minutes avant que le panache franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 23,8 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. - Le formaldéhyde est miscible à l'eau. Déversé dans l'eau, le formaldéhyde en solution se mélange avec l'eau et se dilue. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans un plan d'eau (étendue d'eau calme) il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'un cours d'eau en aval du lieu d'un déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Il vaut donc pour le formaldéhyde.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section

Figure 16

FORMALDÉHYDE

DISTANCE PARCOURUE PAR LE PANACHE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

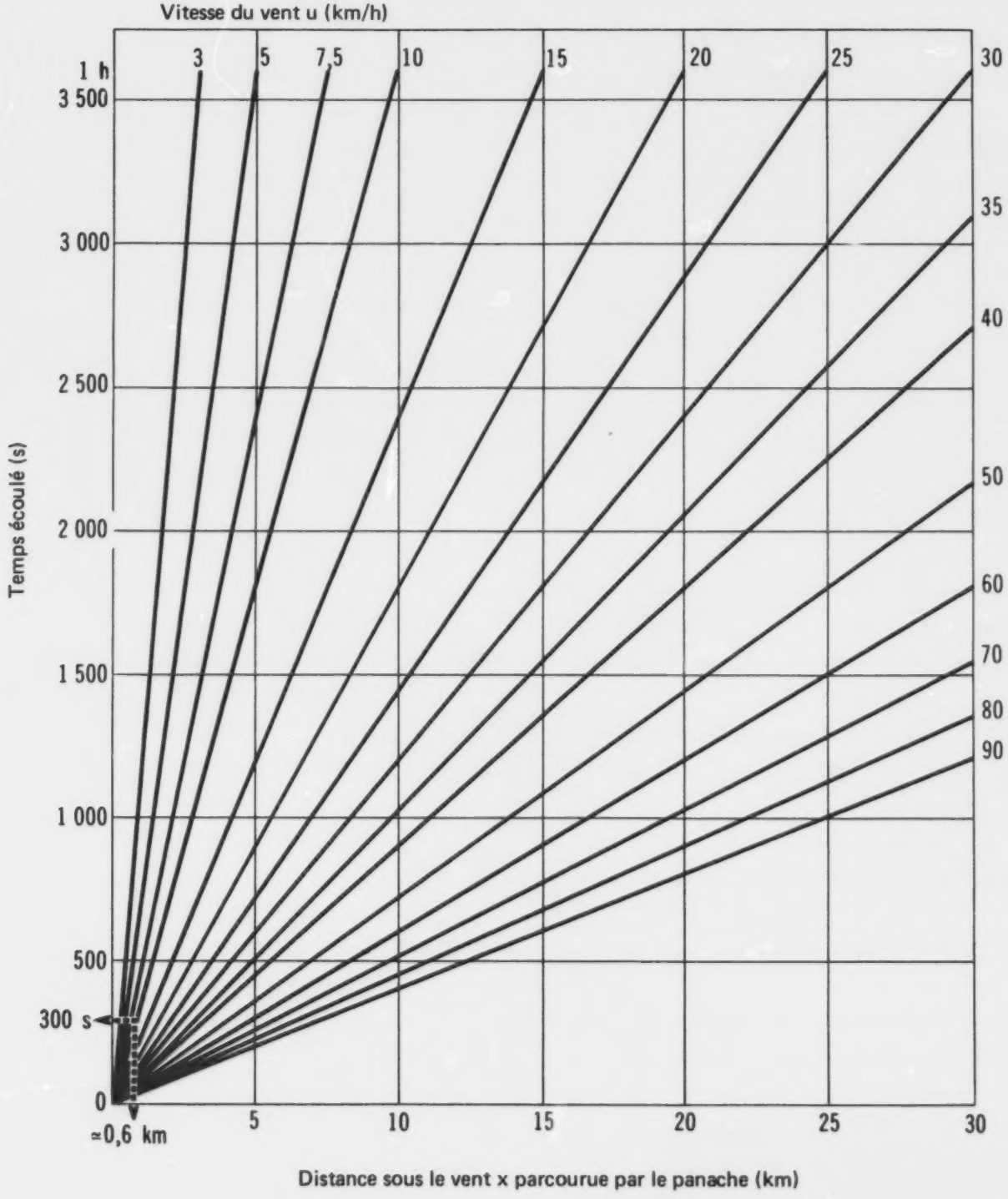


Figure 17

FORMALDÉHYDE — **ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME**

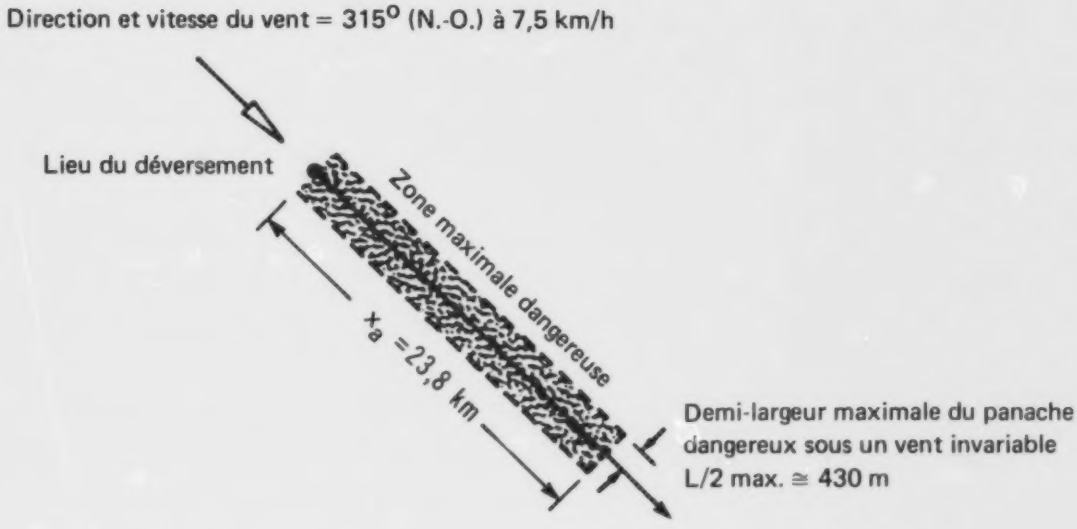
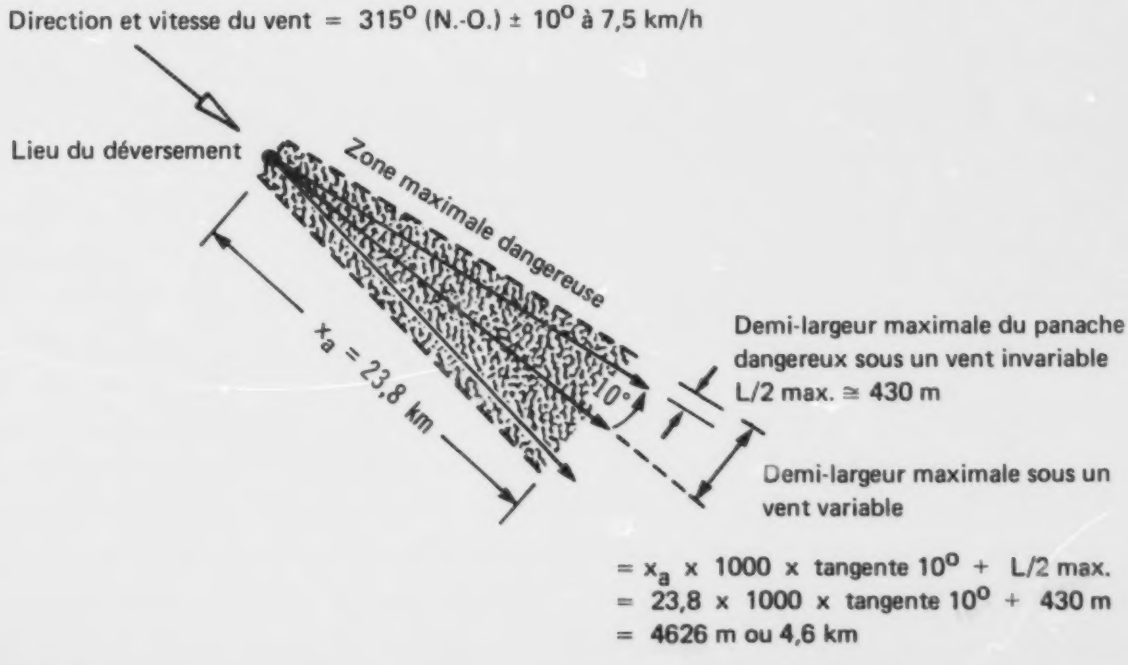


Figure 18

FORMALDÉHYDE — **ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME**



mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans un plan d'eau, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau. - Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant des cours d'eau non soumis aux marées et des lacs au repos et autres plans d'eau.

A. - Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 20 Distance en fonction du temps (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal (pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau))

Figure 22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 23 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente (pour différentes valeurs de temps écoulé)

Figure 24 Delta* en fonction d'alpha (pour différentes masses de liquide déversé)

Figure 25 Teneur maximale en fonction de delta (pour des sections mouillées de différentes surfaces)

B. - Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 26 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs du lac, c.-à-d. différentes hauteurs d'eau)

Figure 27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

La figure 19 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

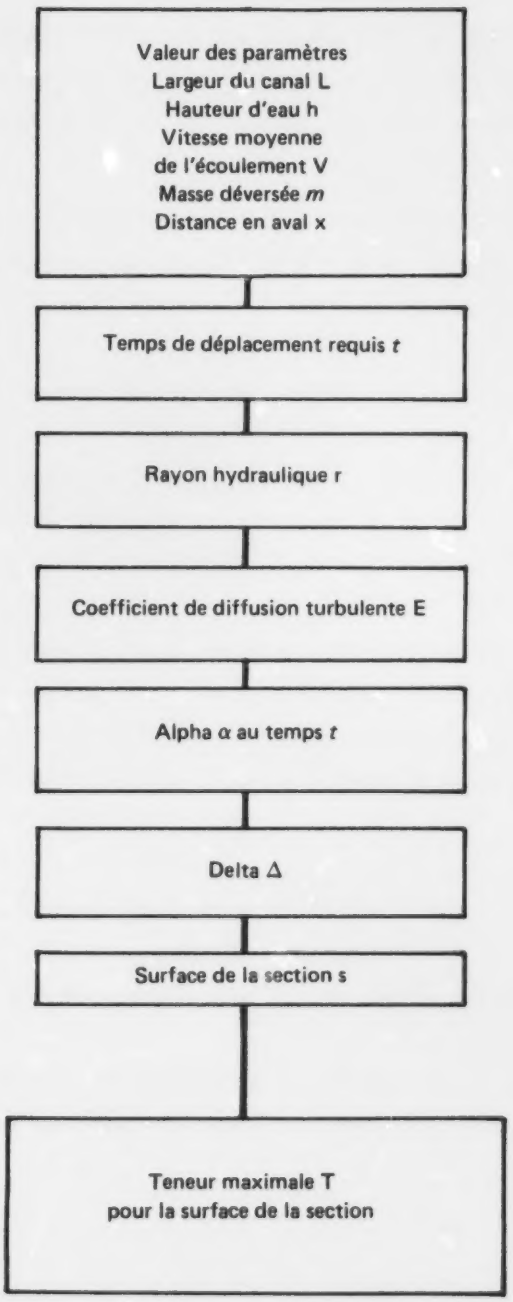
---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 19

FORMALDÉHYDE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



Étape 1

Par observation ou évaluation

L = _____ m
h = _____ m
V = _____ m/s
m = _____ tonnes
x = _____ m

Étape 2 *t* = _____ mn (fig. 20)

Étape 3 r = _____ m (fig. 21)

Étape 4 E = _____ m^2/s (fig. 22)

Étape 5 α = _____ (fig. 23)

Étape 6 Δ = _____ (fig. 24)

Étape 7 s = L x h = _____ m^2

Étape 8 T = _____ ppm (fig. 25)

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 20 Distance en fonction du temps. - Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps *t* que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. - Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 21 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. - Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 23 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. - Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 24 Delta en fonction de alpha. - Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 25 Teneur maximale en fonction de delta. - Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 26 Volume d'eau en fonction du rayon. - L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible (à l'eau), de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 26. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 20

FORMALDÉHYDE

DISTANCE
EN FONCTION DU TEMPS

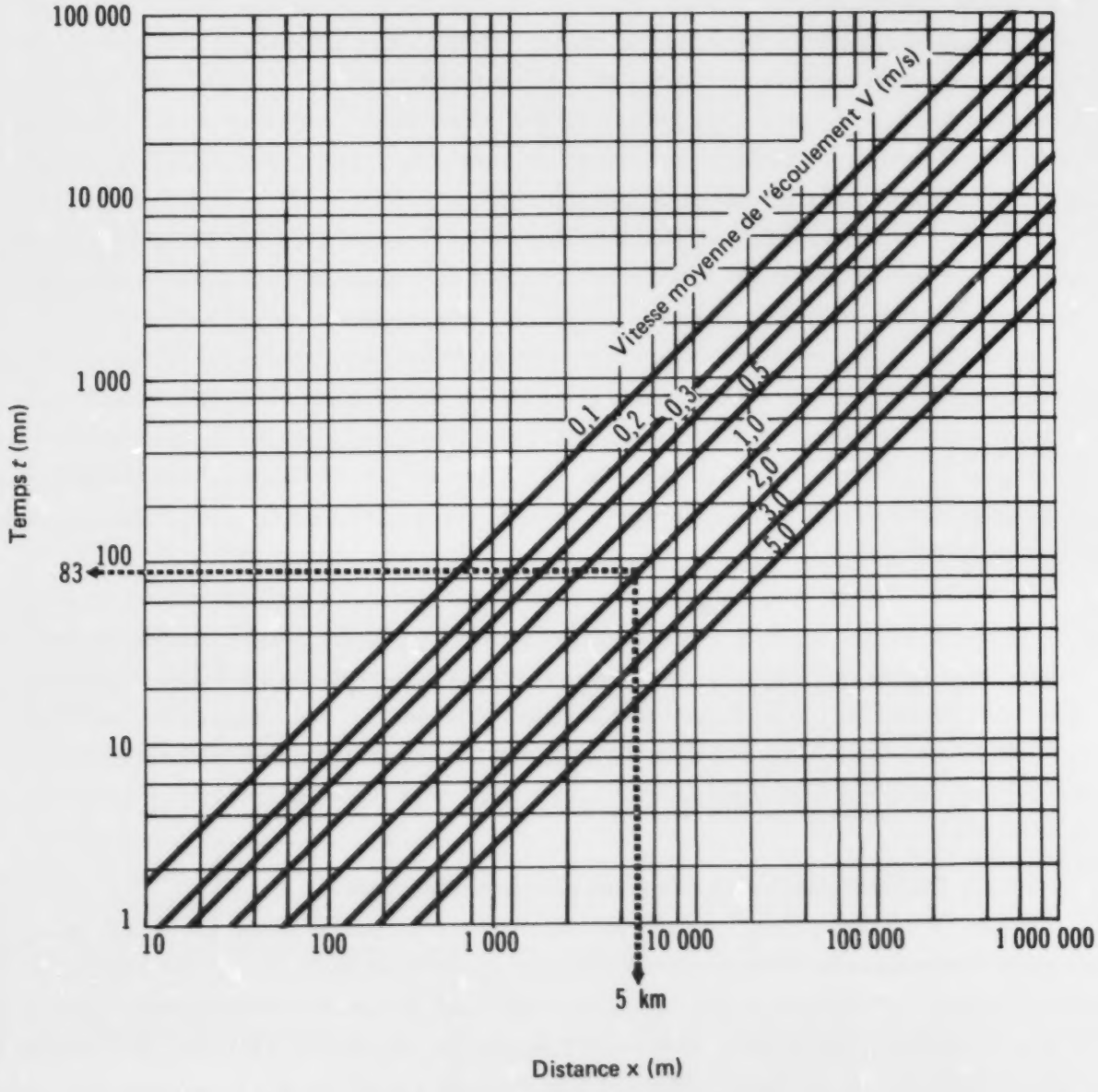


Figure 21

FORMALDÉHYDE

RAYON HYDRAULIQUE
EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

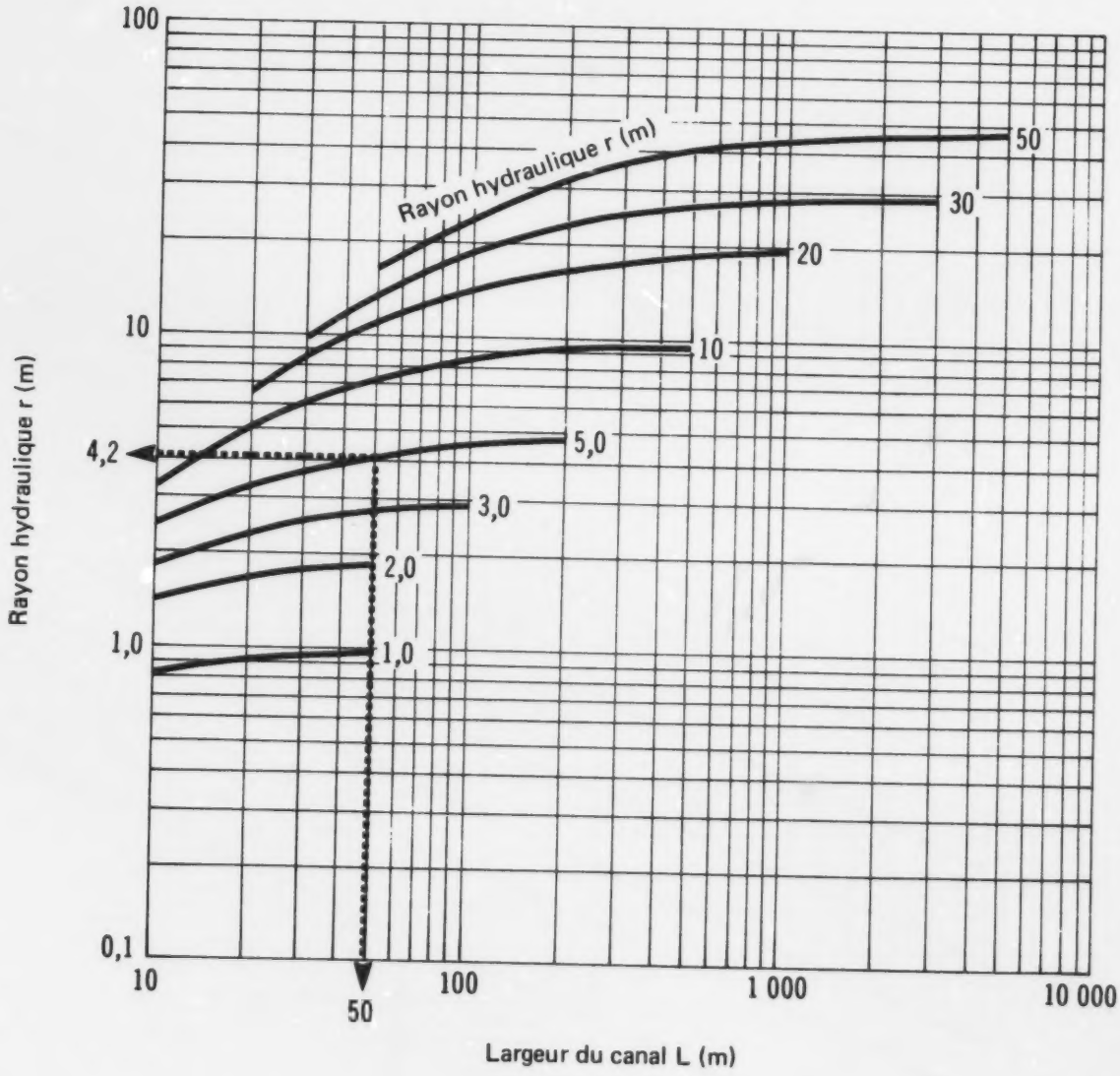


Figure 22

FORMALDÉHYDE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

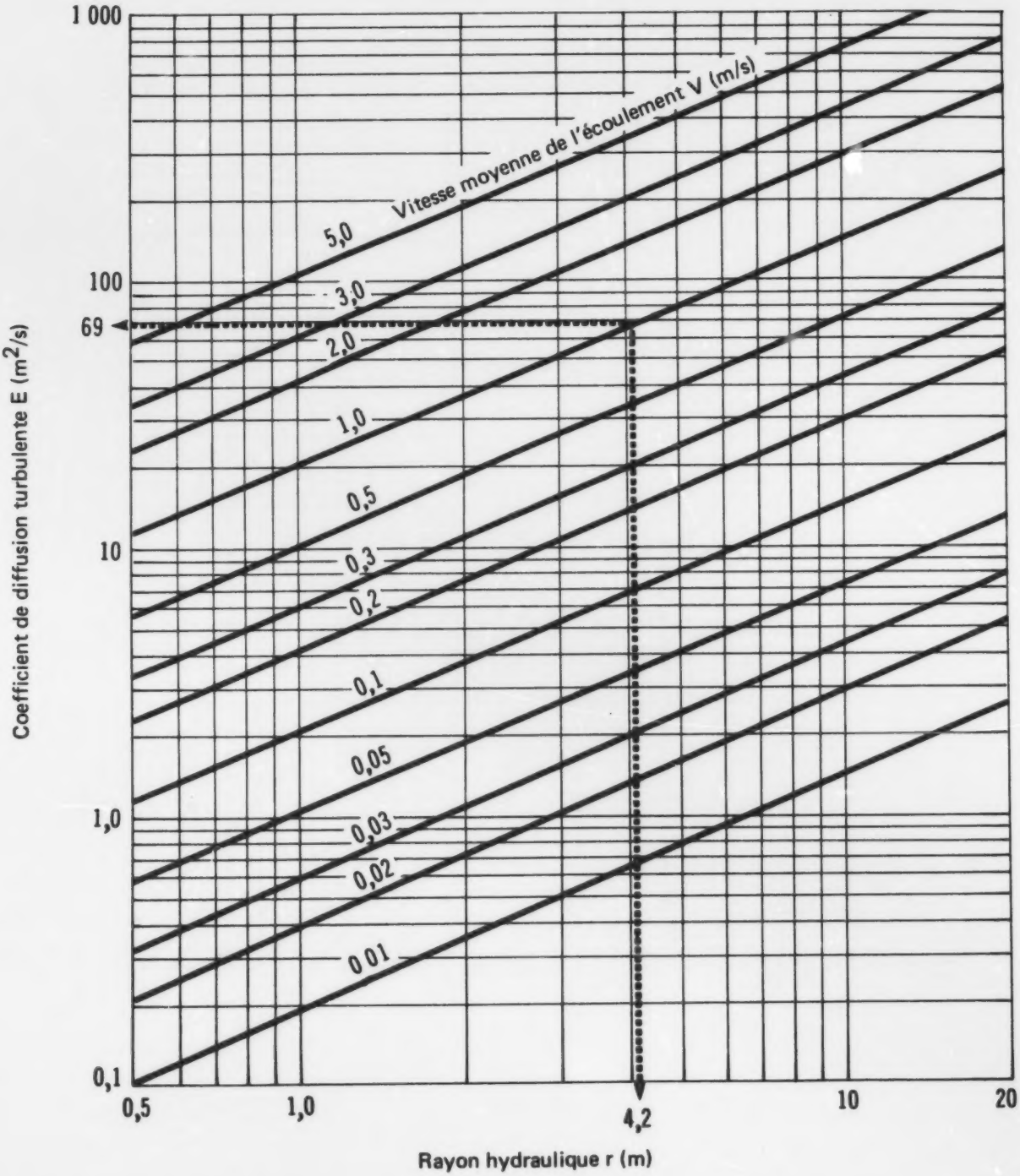


Figure 23

FORMALDÉHYDE

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

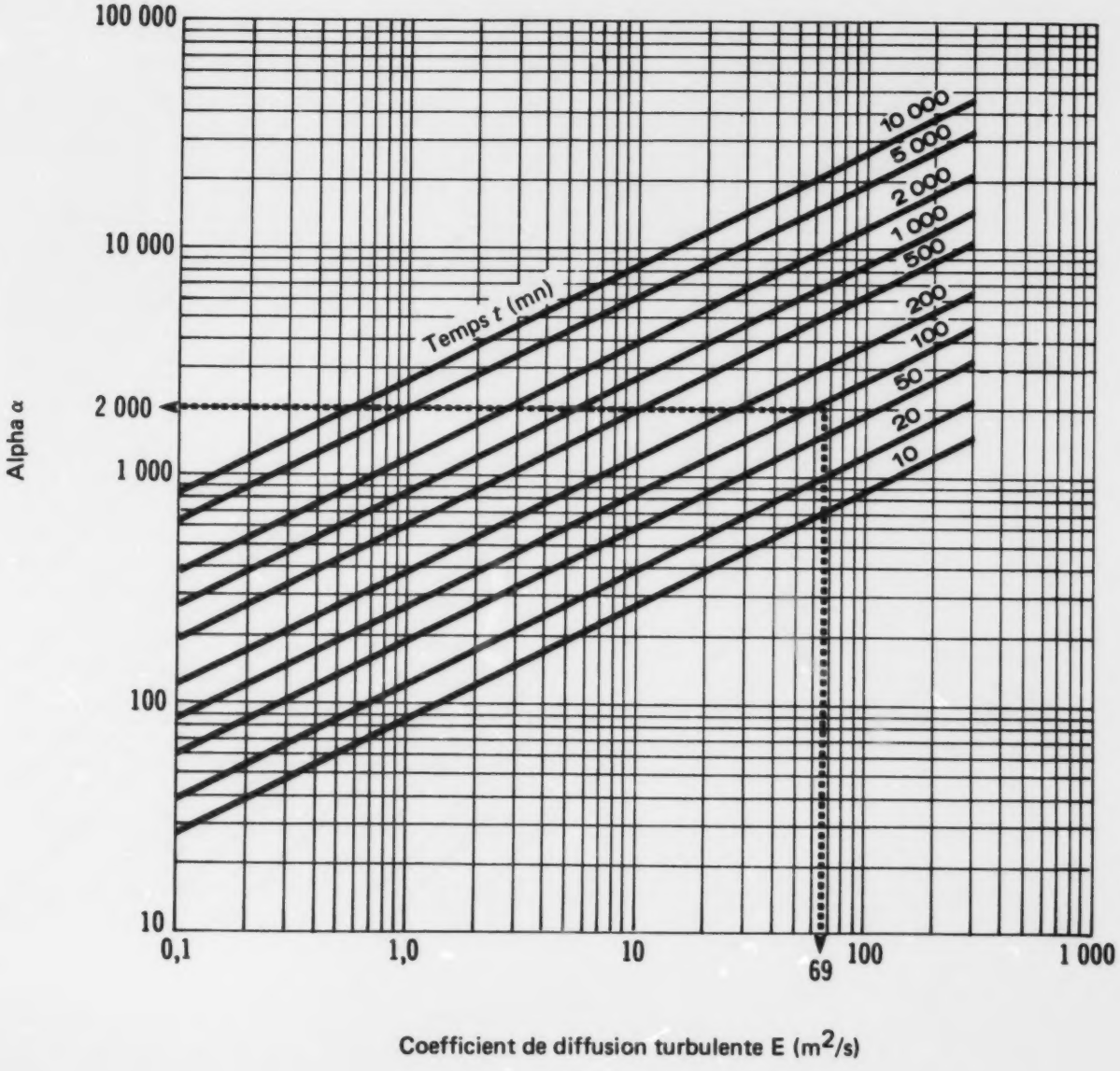


Figure 24

FORMALDÉHYDE

DELTA EN FONCTION D'ALPHA

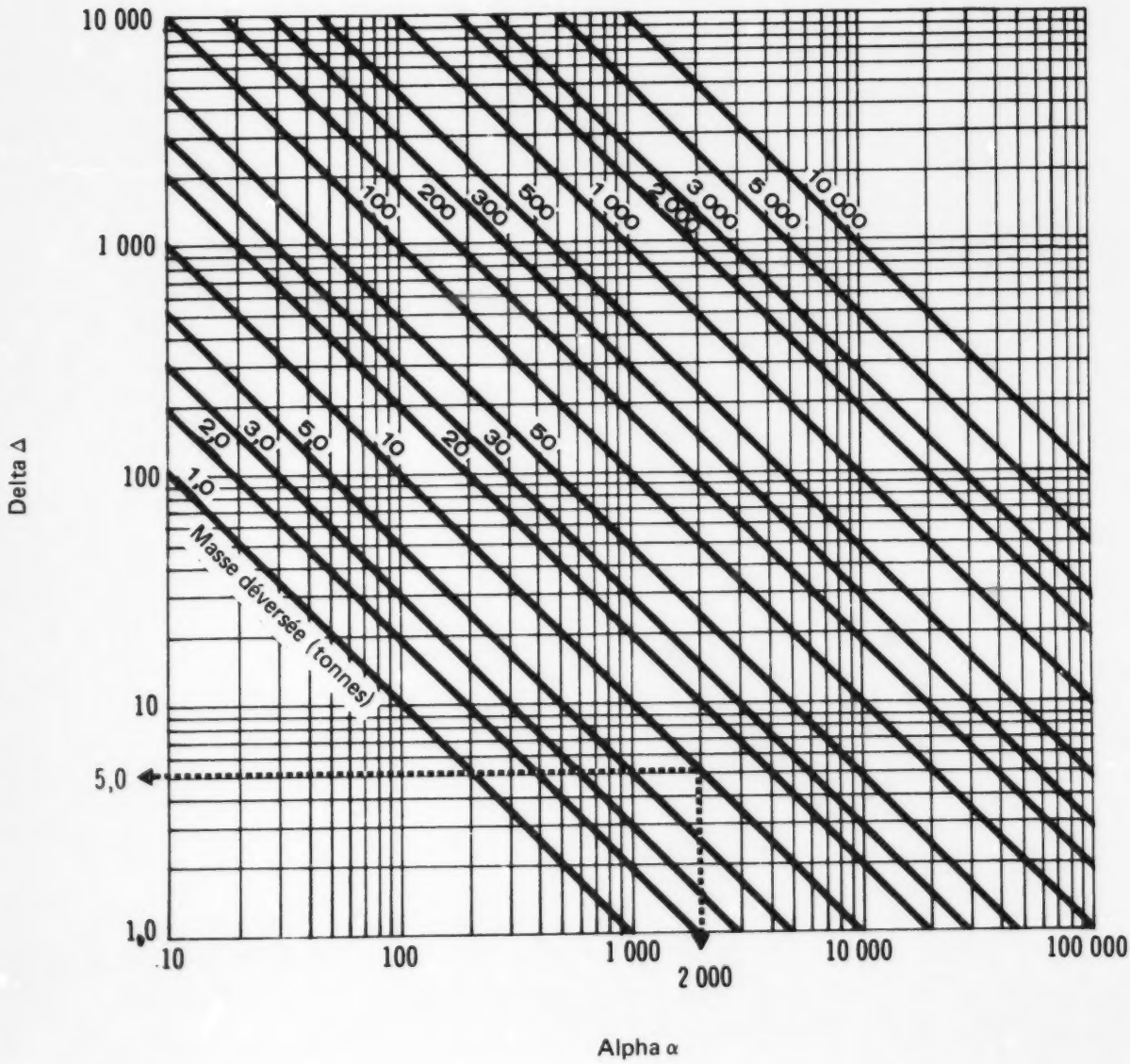


Figure 25

FORMALDÉHYDE

TENEUR MAXIMALE EN FONCTION DE DELTA

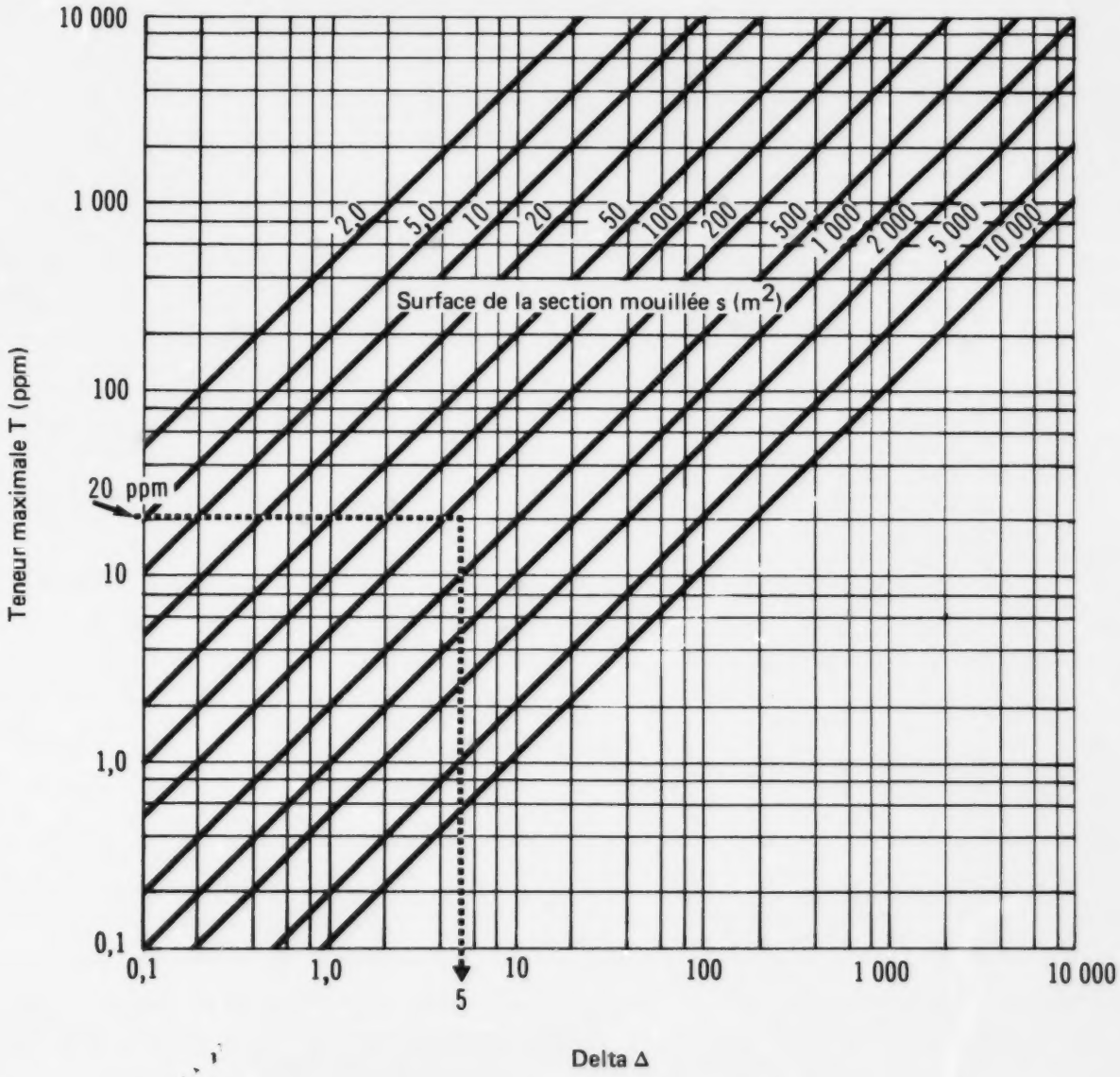


Figure 26

FORMALDÉHYDE

VOLUME D'EAU
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

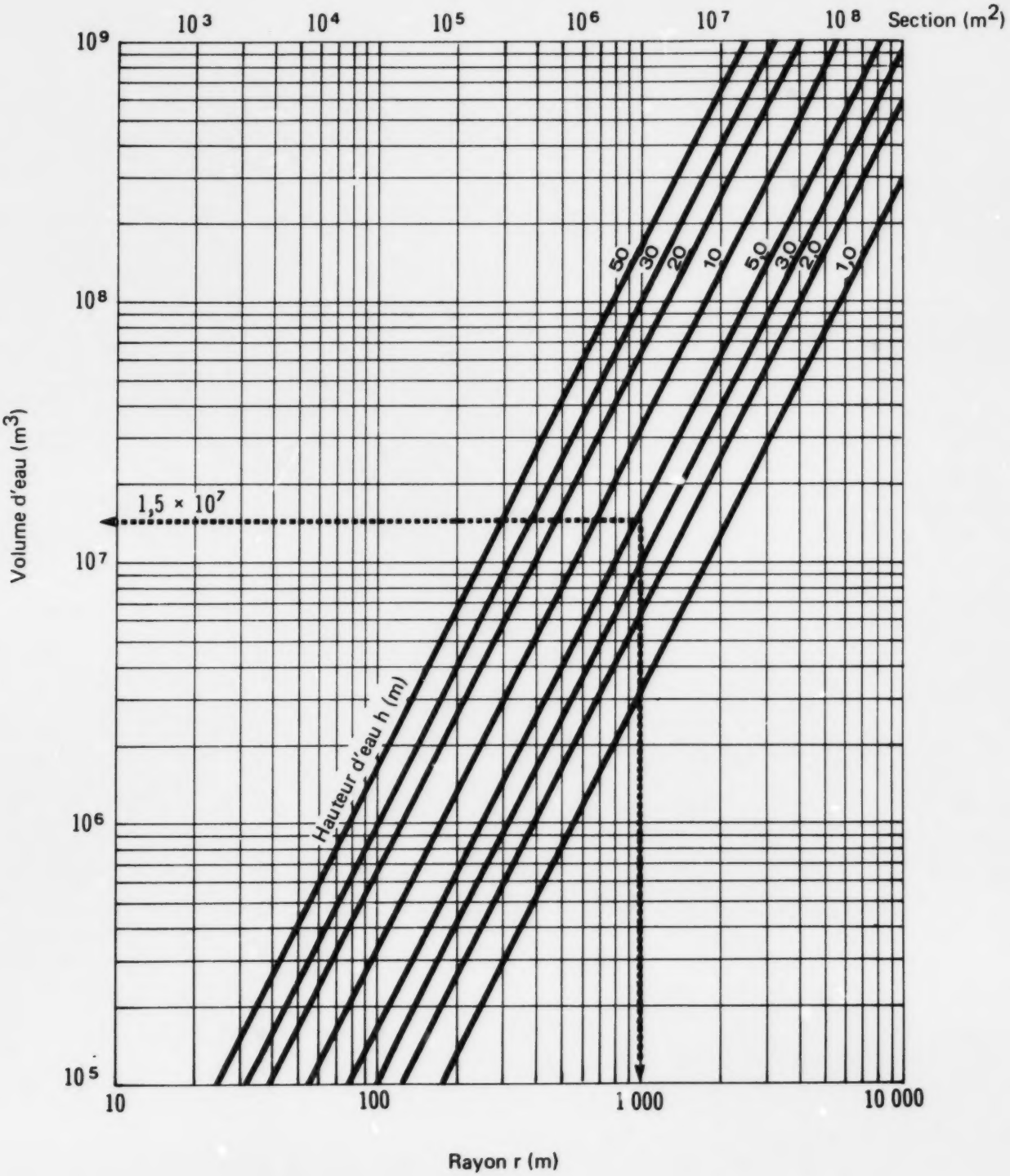


Figure 27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. - Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. - Vingt tonnes de formaldéhyde en solution ont été déversées dans une rivière. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.

$L = 50$ m; $h = 5$ m; $V = 1$ m/s.

$m = 20$ tonnes de solution titrant 50 p. 100 = 10 tonnes de formaldéhyde.

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.

Comme $x = 5000$ m et $V = 1$ m/s, $t = 83$ mn (fig. 20).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.

Comme $L = 50$ m et $h = 5$ m, $r = 4{,}2$ m (fig. 21).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.

Comme $r = 4{,}2$ m et $V = 1$ m/s, $E = 69$ m^2/s (fig. 22).

Étape 5 Déterminer alpha.

Comme $E = 69$ m^2/s et $t = 83$ mn, $\alpha = 2000$ (fig. 23).

Étape 6 Déterminer delta.

Comme $\alpha = 2000$ et $m = 10$ tonnes, $\Delta = 5$ (fig. 24).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.

$s = L \times h = 50 \times 5 = 250$ m^2.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.

Comme $\Delta = 5$ et $s = 250$ m^2, $T = 20$ ppm (fig. 25).

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. - Vingt tonnes de formaldéhyde en solution titrant 50 p. 100 ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.

$h = 5$ m; $r = 1000$ m; $m = 10$ tonnes (de formaldéhyde à 100 p. 100).

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.

Comme $r = 1000$ et $h = 5$ m, vol. = $1{,}5 \times 10^7$ m^3 environ (fig. 26).

Figure 27

FORMALDÉHYDE

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU

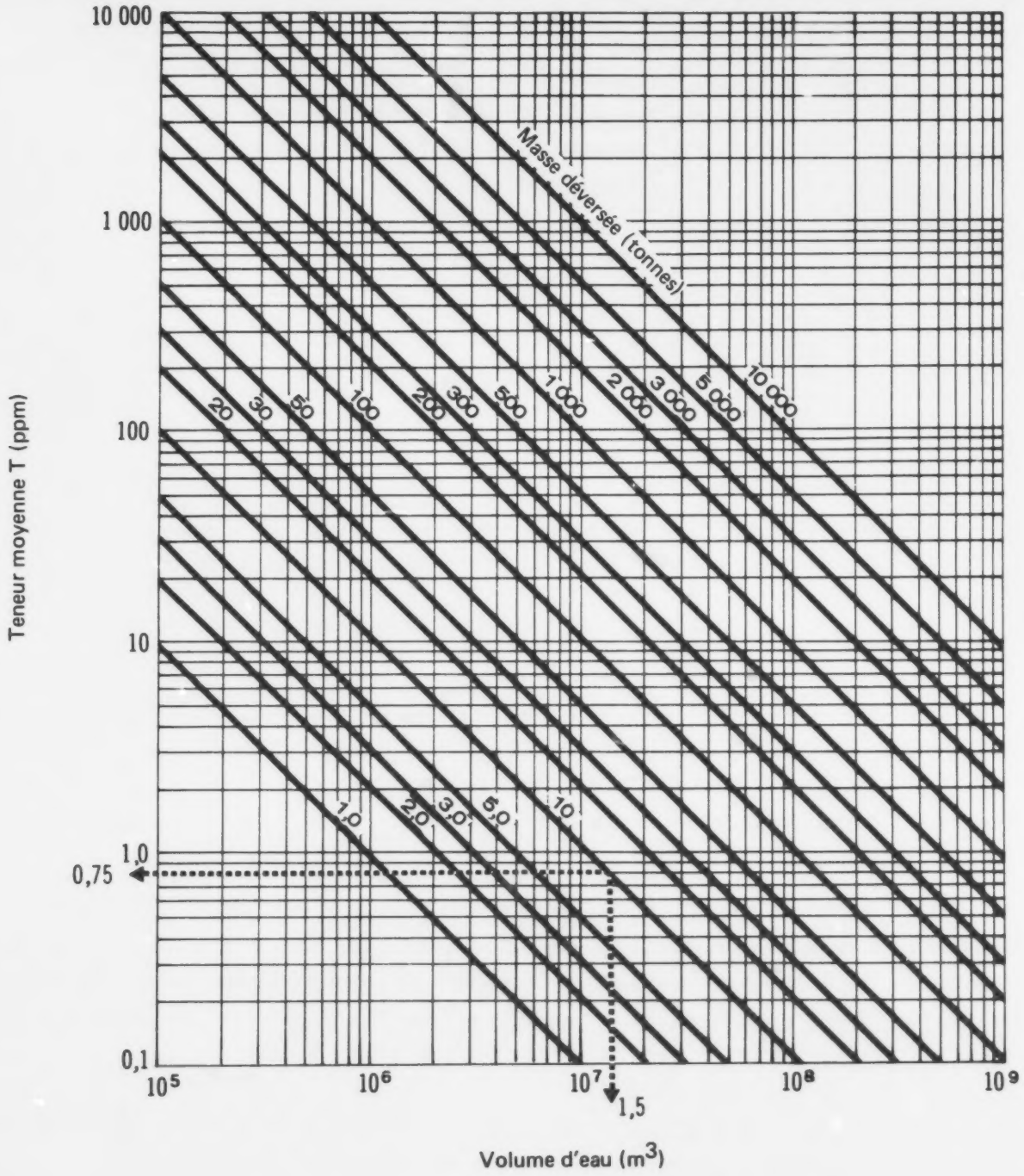
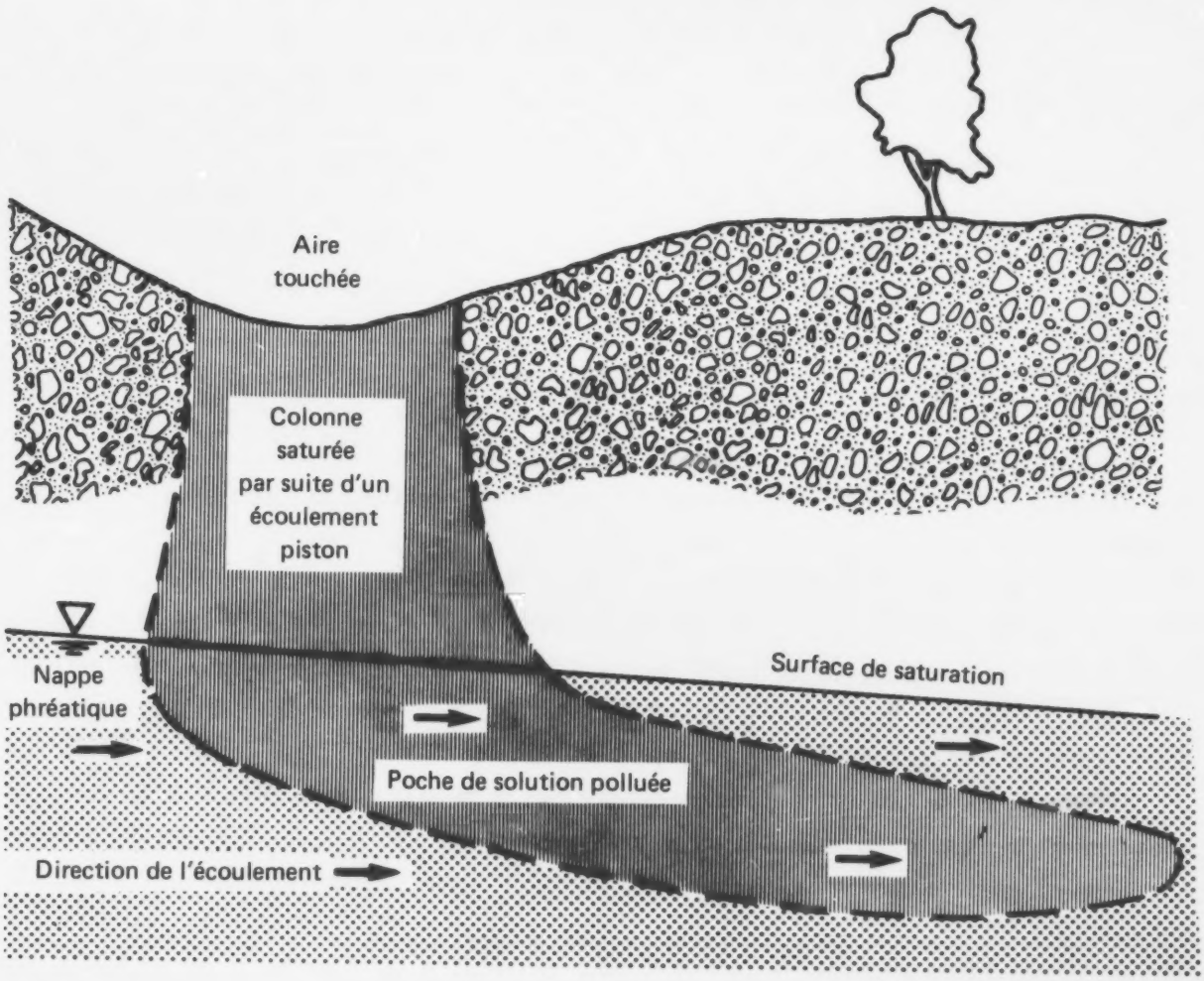


Figure 28

FORMALDÉHYDE

MIGRATION DANS LE SOUS-SOL



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35
Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2
Capacité au champ = 0,075

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.

Comme vol. = $1,5 \times 10^7$ m^3 et m = 10 tonnes, T = 0,75 ppm (fig. 27).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. - Les lois de la migration des fluides dans le sol, ainsi que leur application dans le cadre de la collection "Enviroguide", sont exposées dans le manuel d'introduction de la collection. Les éléments dont il faut tenir compte dans le cas du déversement et de la migration de formaldéhyde en solution sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

Le formaldéhyde en solution titre 30 à 52 p. 100 de formaldéhyde et la solution comporte jusqu'à 15 p. 100 de méthanol dans l'eau. Déversée dans l'eau, la solution se mélange avec l'eau. Déversée sur le sol, la solution pénètre rapidement. Des précipitations au moment du déversement ou de l'eau utilisée pour nettoyer la surface du sol auront pour effet de diluer la solution et d'accélérer le mouvement de pénétration.

Si le sol est saturé en eau au moment de l'accident, comme cela peut se produire à la suite de précipitations, la solution ruissellera ou formera une mare.

Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant: il s'agit donc d'un scénario parmi les pires.

Au cours de sa migration, le formaldéhyde peut réagir avec certains matériaux constitutifs du sol. L'adsorption, en particulier, est possible. Il reste qu'une proportion considérable du fluide poursuit son mouvement descendant jusqu'à la nappe phréatique. En fait, l'analyse présentée dans les paragraphes qui suivent ne tient compte d'aucun facteur de retardement.

Lorsque le fluide atteint la nappe phréatique, il continue sa migration dans la direction de l'écoulement de l'eau de la nappe. Il forme une poche de solution polluée, au sein de laquelle les phénomènes de diffusion et de dilution contribuent à une certaine baisse de la teneur en polluant (fig. 30).

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. - Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du fluide dans la zone non saturée (à capacité au champ), jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le manuel d'introduction de la collection. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, alors que l'on pose comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. - Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)\, k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)

ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)

μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)

g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

Dans le cas présent, les fluides sont: du formaldéhyde en solution titrant 37 p. 100 et de l'eau. Les valeurs établies pour l'eau correspondent au point extrême de dilution de la solution.

Valeurs établies pour les fluides

Paramètre	Formaldéhyde en solution titrant 37 p. 100		Eau
	20 °C	4 °C	20 °C
Masse volumique (kg/m^3)	1102	1110	1000
Viscosité absolue (Pa . s)	$1,9 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité d'un sol saturé (m/s)	$(0,57 \times 10^7)k$	$(0,31 \times 10^7)k$	$(0,98 \times 10^7)k$

5.5.4 Types de sol. - Le manuel d'introduction de la collection décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les paramètres qui influent sur la migration des fluides.

Valeurs établies pour les sols

Paramètre	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de la migration. - Un nomogramme de la migration du fluide dans la couche de sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et

les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considérée comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 29 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 30 à 32. La droite représentant la profondeur atteinte par l'eau à 20 °C indique une limite puisqu'elle correspond au point extrême de dilution du formaldéhyde au contact de l'eau présente sur les lieux du déversement.

5.5.6 Exemple de calcul. - Vingt tonnes de formaldéhyde en solution se sont répandues sur un sol constitué de sable grossier. L'aire touchée a un rayon de 8,6 m. La température atteint 20 °C. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 24 minutes après le début du déversement.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse de fluide déversée = 20 000 kg (20 tonnes)

Température = 20 °C

Rayon de l'aire touchée = 8,6 m

Type de sol = sable grossier

Profondeur de la surface de saturation = 13 m

Temps écoulé depuis le début du déversement = 24 minutes

Étape 2 Calculer l'aire touchée par le fluide.

Aire = πr^2 = 232 m^2

Étape 3 Évaluer la hauteur de migration après 24 minutes.

Hauteur de migration = 8,2 m

(La surface de saturation n'est pas atteinte.)

Figure 29

FORMALDÉHYDE

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES

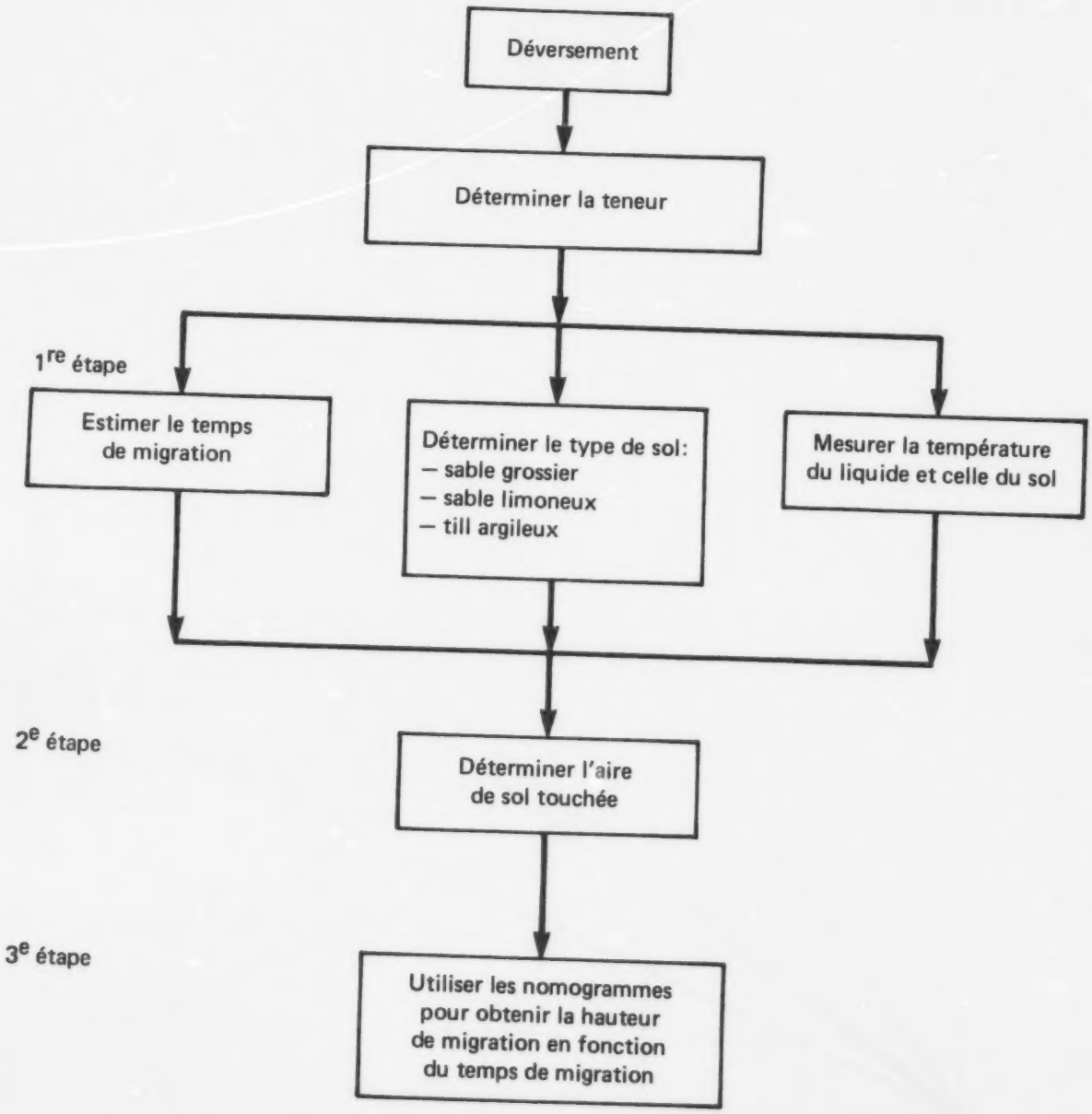


Figure 30

FORMALDÉHYDE (en solution titrant 37 %) MIGRATION DANS UN SOL GROSSIER

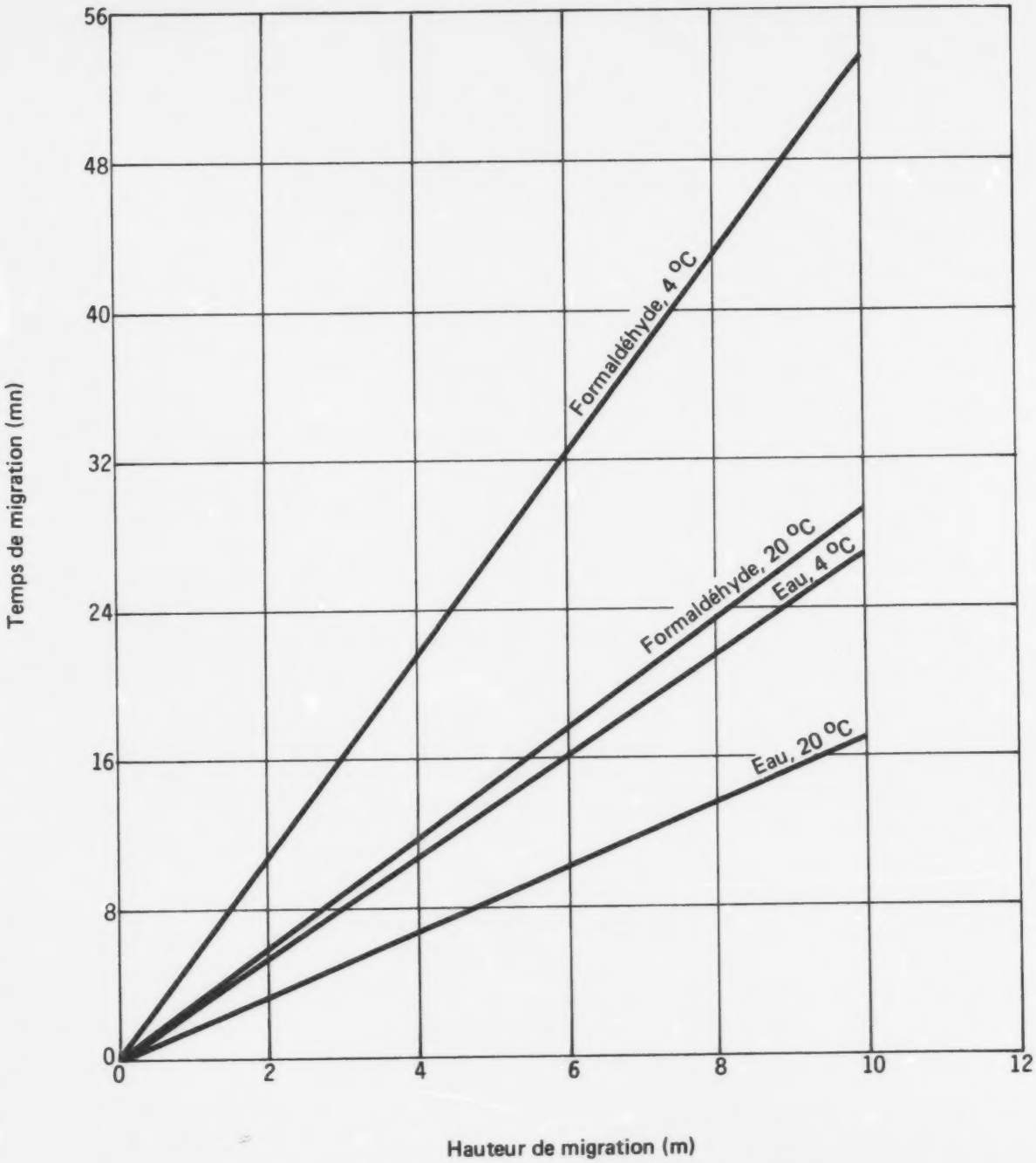


Figure 31

FORMALDÉHYDE (en solution titrant 37 %) **MIGRATION DANS UN SOL LIMONEUX**

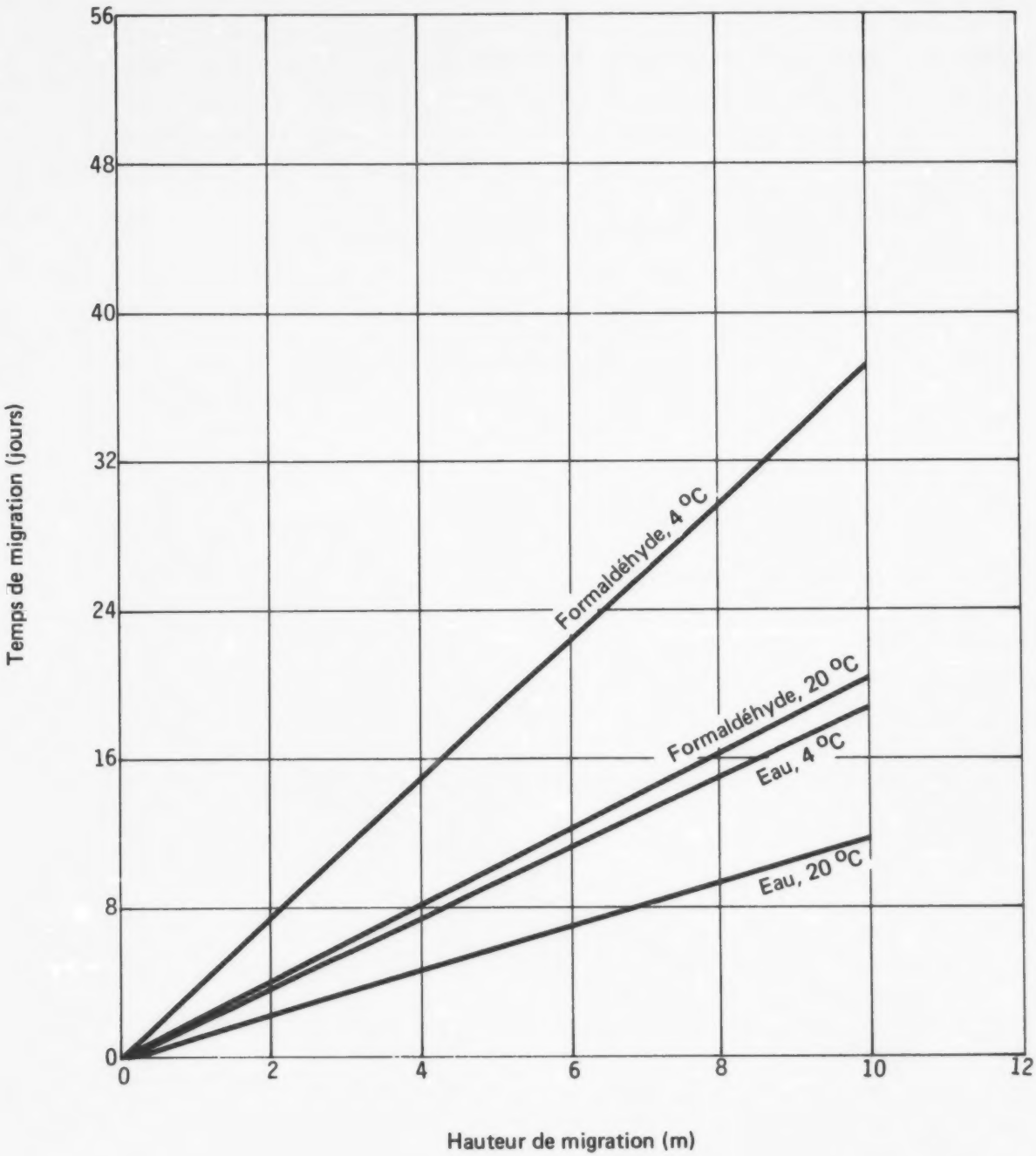
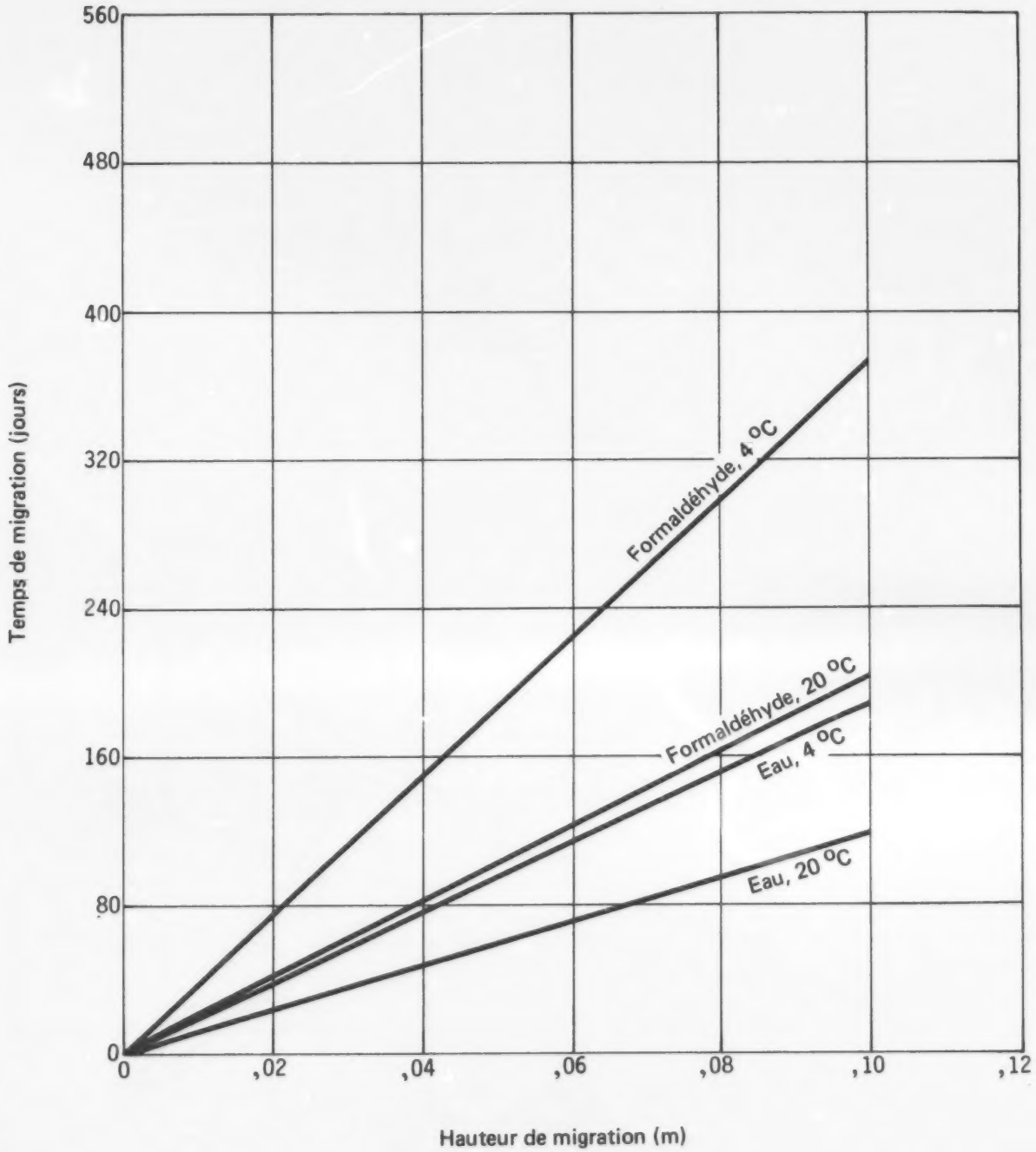


Figure 32

FORMALDÉHYDE (en solution titrant 37 %) **MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX**



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. - Aucune limite n'est recommandée au Canada.

6.1.2 Qualité de l'air. - Au Canada, l'Ontario recommande une teneur limite de l'air en formaldéhyde de 65 $\mu g/m^3$ aux endroits où les émissions atteignent l'homme (Ontario E.P. Act, 1971). Par ailleurs, la Colombie-Britannique a fixé une teneur limite de 20 ppm dans le cas des émissions d'origine industrielle (Law, 1982).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux U S A. - La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) au formaldéhyde correspond à une teneur variant entre 10 et 100 ppm (RTECS, 1979).

6.2.2 Mesures de la toxicité

6.2.2.1 Toxicité en eau douce

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
100	72	Achigan à grande bouche	létal	formaline	Helms, 1967
100	42	Crapet arlequin	létal	formaline	Helms, 1967
50	24	Truite	mort		WQC, 1963
50	120	Stromatée à fossettes	létal	18 °C	WQC, 1963
87	25	Alevins de barbue de rivière	létal	formaline	Clemens, 1959
126	48	Barbue de rivière	létal	formaline	OHM-TADS, 1981
70	72	Carpe	létal	formaline	OHM-TADS, 1981
168	48	Truite arc-en-ciel	TL 50	statique	WQCDB-3, 1971
185	48	Truite brune	TL 50	statique	WQCDB-3, 1971
157	48	Omble de fontaine	TL 50	statique	WQCDB-3, 1971
167	48	Truite grise	TL 50	statique	WQCDB-3, 1971

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
96-126	48	Barbue de rivière	TL 50	statique	WQCDB-3, 1971
140	48	Crapet arlequin	TL 50	statique	WQCDB-3, 1971
87	24	Barbue de rivière	TL 50	formaline	OHM-TADS, 1981
41	96	Dard-perche	TL 50		JWPCF, 1983
15-32,5	48	Ide mélanote	TL 50		JWPCF, 1983
100	96	Crapet arlequin	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
136	96	Achigan à petite bouche	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
143	96	Achigan à grande bouche	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
565-700 (37 %)	96	Truite arc-en-ciel (oeufs verts)	TL 50	statique	Verschueren, 1984
198-435 (37 %)	96	Truite arc-en-ciel (oeufs embryonnés)	TL 50	statique	Verschueren, 1984
89,5-112 (37 %)	96	Truite arc-en-ciel (stade larvaire SAL)	TL 50	statique	Verschueren, 1984
62-145 (37 %)	96	Truite arc-en-ciel (truitelles)	TL 50	statique	Verschueren, 1984
440-618 (37 %)	96	Truite arc-en-ciel	TL 50	statique	Verschueren, 1984
118	96	Truite arc-en-ciel	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
100	96	Truite grise	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
62	96	Barbote noire	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
66	96	Barbue de rivière	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
173	96	Crapet vert	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
224 (37 %)	96	Anguille d'Amérique (stade noir)	TL 50	22 °C, statique, pH 7,2-7,6, dureté 40-48	JWPCF, 1981
84 (37 %)	96	Anguille d'Amérique (civelle cristalline)	TL 50 TL 50	22 °C, statique, pH 7,2-7,6, dureté 40-48	JWPCF, 1981

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
330 (37 %)	96	Anguille d'Amérique (anguille verte)	TL 50	22 °C, statique, pH 7,2-7,6, dureté, 40-48	JWPCF, 1981
3,7-11,1	24	Alevins de bar d'Amérique	TL 50	statique	NRC, 1981
10	48 à 96	Larves de bar d'Amérique	TL 50	statique	Hughes, 1973
15	24	Larves de bar d'Amérique	TL 50	statique	OHM-TADS, 1981
15	48 à 96	Alevins de bar d'Amérique	TL 50	statique	Hughes, 1973
35	24	Alevins de bar d'Amérique	TL 50	statique	Hughes, 1973
50	48	Truite brune	TLm	18-20 °C; eau dure; statique et écoulement continu	Middlebrooks, 1973
76	24	Truite brune	TLm	18-20 °C; eau dure; statique et écoulement continu	Middlebrooks, 1973
50	48	Truite arc-en-ciel	TLm	18-20 °C; eau dure; statique et écoulement continu	Middlebrooks, 1973
76	24	Truite arc-en-ciel	TLm	18-20 °C; eau dure; statique et écoulement continu	Middlebrooks, 1973
100	48	Truite	TLm	température contrôlée	Wilford, 1966
25	48 à 96	Barbote	TLm		WQC, 1963
32	24	Barbote	TLm		OHM-TADS, 1981

Toxicité pour les invertébrés

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
37	72	Écrevisse (*Procambarus blandingi*)	Aucun effet		NRC, 1981

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
5	Non précisée	*Daphnia magna*	TL 100		NRC, 1981
2	48	*Daphnia*	TLm	23 °C	WQC, 1963

Toxicité pour d'autres espèces

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
100-120	48	Têtards de grenouille mugissante	TL 30		NRC, 1981
15	72	Têtards de grenouille mugissante	TL 100		NRC, 1981
11-18,5	72	Têtards de grenouille-léopard (*Rana pipiens*)	TL 100		NRC, 1981
37	72	Larves de salamandre (*Amblystoma tigrinum*)	Non toxique		NRC, 1981

Toxicité pour les micro-organismes

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
3	96	Algue (*Scenedesmus obliquus*)	TLm	24 °C	NRC, 1981
74	Non précisée	Organismes aquatiques aérobies	Inhibition à 50 % de l'utilisation de l'oxygène		NRC, 1981

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
130-170	Non précisée	Organismes aquatiques aérobies	Seuil toxique		NRC, 1981
37	168	Algues aquatiques (*Aphanothece*, *Oscillatoria* et *Raizoclonium*)	Aucun effet		NRC, 1981
5,6	168	Algues aquatiques (*Scenedesmus*, *Sirogonium*, *Spyrogyra* et *Stigeoclonium*)	TL 100		NRC, 1981
1	Non précisée	Bactérie (*E. Coli*)	Toxique		Verschueren, 1984
0,3-0,5	Non précisée	Algue (*Scenedesmus*)	Toxique		Verschueren, 1984
5	Non précisée	*Microregma*	TLm		OHM-TADS, 1981
14	Non précisée	Bactérie (*Pseudomonas putida*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984
0,39	Non précisée	Algue (*Microcystis aeruginosa*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984
2,5	Non précisée	Algue verte (*Scenedesmus quadricauda*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984
22	Non précisée	Protozoaire (*Entosiphon sulcatum*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984
6,5	Non précisée	Protozoaire (*Uronema parduczi*)	Inhibition de la multiplication des cellules		Verschueren, 1984

6.2.2.2 Toxicité en eau salée

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
69,1-74,9	96	*Trachinotus carolinas* (juvénile)	TL 50	statique, formaline	OHM-TADS, 1981
18	96	Alevins de bar d'Amérique	TL 50	statique, eau salée	OHM-TADS, 1981
100-300	48	Plie	TL 50	eau salée, aérée	Portman, 1970
173 (37 ‰)	96	Saumon atlantique	TL 50	écoulement continu	Verschueren, 1984
330-1000	48	Crevette (*Crangon crangon*)	TL 50	aération continu	WQCDB, 1973

6.3 Toxicité pour les oiseaux

La fertilité des oeufs a diminué chez les oies élevées dans des lieux pollués par du formaldéhyde. Les oies adultes n'ont présenté aucun signe de maladie (Jopek, 1980).

6.4 Toxicité pour les végétaux

De nombreux tests faits sur diverses espèces de plantes indiquent qu'à de faibles teneurs le formaldéhyde ne semble pas nocif pour les plantes. On n'a établi de teneur toxique pour aucune espèce. Voici certains résumés d'études (NRC, 1981). L'épinard, l'endive, la betterave, l'orge et la luzerne n'ont pas subi de dommages après exposition à des teneurs de 2 ppm pendant 2 heures. À 0,7 ppm pendant 5 heures, la luzerne a montré des signes de lésions bénignes atypiques. Dans une autre expérience, des fèves Pinto ont reçu une dose de 1,6 à 16 ppm de formaldéhyde traité à la lumière ultra-violette. On n'a observé aucune lésion. Le formaldéhyde a été mélangé à des oxydes d'azote, traité aux ultra-violets et administré à des fèves Pinto, à du tabac et à des pétunias; des teneurs de 5,6 et 6,1 ppm n'ont pas causé de dommage à ces plantes. D'autres études ont indiqué que des algues (*Euglena gracilis*), le haricot commun et l'orge n'ont pas été affectés à des teneurs inférieures à 0,08 ppm.

La germination du pollen exposé à du formaldéhyde a également été étudiée. Une exposition de 1 ou 2 heure(s) à une teneur de 0,37 ppm n'a pas affecté le pollen; cependant, une exposition de 5 heures a réduit la longueur du tube pollinique. Une dose de 2,4 ppm pendant 1 heure a également réduit la longueur du tube pollinique. Dans deux cas distincts, la croissance de plantules a été affectée par ce que l'on croit avoir été du formaldéhyde

provenant de la caisse où ils étaient. Des comprimés de paraformaldéhyde sont utilisés dans les érablières pour augmenter ou prolonger la production de sève des arbres. Des études préliminaires ont permis d'établir que le formaldéhyde altérait à long terme le système vasculaire et le système de rayons des arbres.

6.5 Études sur les effets toxiques

Une teneur en formaldéhyde de 95 ppm a été considérée comme la cause d'une altération de la chair de poisson (WQC, 1972). Le formaldéhyde agit en tant que toxique protoplasmique surtout parce qu'il coagule les protéines (MHSSW, 1976; EPA 560/2-76-009).

6.6 Dégradation du polluant

D.B.O. kg/kg	D.B.O. % théor.	Jours	Milieu	Méthode	Source
0,6-1,07	60	5	Eaux usées		Verschueren, 1984
0,3-1,06		5	Eaux usées		Henkelekian, 1971
1,06	100			C.O.C.	Jones, 1971
< 1	47	5	Boues activées	Intermit-tence	Ryerman, 1966
> 1	99	5	Boues activées	Intermit-tence	Ryerman, 1966
< 1	0	5	Culture de bactéries pure		Ryerman, 1966
1,228		20			Verschueren, 1984

Des teneurs en formaldéhyde de 50 à 720 mg/l ont entraîné un retard de plus de 2 jours avant que ne commence l'oxydation. Après acclimatation, on a atteint un taux d'élimination de 95 p. 100 (teneur initiale de 1750 mg/l). Un tampon au bicarbonate de sodium réduisait l'inhibition (EPA 660/2-77-239). L'inhibition de la digestion des boues commence à 100 mg/l (Verschueren, 1984). L'inhibition de la dégradation du glucose par les bactéries commence à 1 ou 2 mg/l (Verschueren, 1984).

6.7 Teneurs des milieux ambiants

Le formaldéhyde est un corps qui se trouve un peu partout dans la nature à des teneurs relativement faibles (< 4 ppb). On le retrouve dans beaucoup de fruits (comme l'ananas et la pomme) et il est émis à de faibles teneurs par de nombreuses plantes. Il est produit par de nombreuses réactions de combustion (moteurs, brûlage des déchets, du bois, du tabac, etc.) Il est également émis par de nombreux matériaux de construction, surtout le bois et les panneaux de particules, étant donné que la résine urée-formaldéhyde est utilisée comme colle. Les

teneurs types en formaldéhyde de l'air des villes vont de 4 à 150 ppb. En milieu de travail, ces teneurs peuvent être beaucoup plus élevées: 0,04 à 14 ppm dans les usines de fabrication de contreplaqué ou de produits stratifiés; 0,09 à 6 ppm dans les salons funéraires; et 0,9 à 3,3 ppm dans les usines de textiles, les ateliers de confection de vêtements et les magasins de vêtements (NRC, 1981).

6.8 Devenir à long terme

La demi-vie du formaldéhyde dans la basse atmosphère est évaluée à 2,6 heures; les réactions sont complexes et les transformations sont difficiles à établir. Le formaldéhyde finit par être entraîné par une précipitation et diverses études ont évalué le taux de lavage, c'est-à-dire le taux de dépôt par voie humide à 1 à 6 $\mu g/cm^2$ de surface marine par année. Les taux de lavage au-dessus des terres sont évalués à des valeurs supérieures et contribuent grandement à l'élimination du formaldéhyde de l'atmosphère (NRC, 1981).

On n'a observé ni bioconcentration ni bio-accumulation (Sills, 1979).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Les effets irritants du formaldéhyde sont bien connus. L'irritation des yeux et de la peau causée par l'exposition à ce produit chimique ont été décrits aussi bien dans le cas des personnes que des animaux de laboratoire. De plus, des rapports sur les symptômes de l'intoxication due à l'inhalation vont de l'irritation provoquée par une exposition d'intensité moyenne à l'oedème pulmonaire et au décès par suite d'une exposition grave.

Dans ce domaine, on a bénéficié d'une abondante documentation au cours des dernières années, en raison de la publication de deux études complémentaires sur les effets cancérigènes du formaldéhyde chez les animaux (NIOSH, 1980). Plusieurs expériences à court terme faites en laboratoire ont indiqué que le formaldéhyde était également mutagène (NIOSH, 1980). On n'a cependant trouvé aucune donnée concluante sur les effets tératogéniques de ce composé. Un *Criteria Document* publié en 1976 (NIOSH, 1976) et la documentation de la USA-ACGIH TLV (Doc. TLV, 1981) ont traité principalement des effets irritants du formaldéhyde sur les yeux et sur les muqueuses des voies respiratoires et sur son potentiel en tant que sensibilisant. En 1980, le NIOSH a publié un *Current Intelligence Bulletin* (nº 34) intitulé *Formaldehyde: Evidence of Carcinogenicity* (NIOSH, 1980). Bien que la norme de l'OSHA demeure inchangée jusqu'à présent, le bulletin recommande que le formaldéhyde soit manipulé en milieu de travail comme une source possible de cancer.

Au Canada, on a trouvé que la mousse isolante à base d'urée-formaldéhyde émettait du formaldéhyde. Toute nouvelle utilisation de cette mousse comme matériau isolant a été interdite.

Les données toxicologiques présentées ci-après sont extraites de sources reconnues et dignes de confiance. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée, à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement aux cas de déversement. À l'exception des données portant sur la mutagénicité, la tératogénicité et la carcinogénicité, seules les données sur l'exposition de courte durée obtenues avec des mammifères autres que l'homme sont indiquées pour étayer l'interprétation des données relatives à l'homme, le cas échéant.

7.1 Normes d'exposition

Les normes d'exposition au formaldéhyde sont basées sur ses propriétés irritantes et ses effets sur les poumons; on tient compte du fait que les travailleurs exposés peuvent s'adapter à l'exposition au formaldéhyde et tolérer des teneurs accrues sans présenter des signes d'effets néfastes. Au Canada, les directives des provinces sont semblables à celles qui sont élaborées par l'ACGIH aux États-Unis, à moins d'indication contraire.

Teneurs maximales admissibles

Norme	Origine	Teneur	Source
	Moyenne pondérée en fonction du temps		
TLV•	USA-ACGIH	1 ppm (1,5 mg/m^3)	TLV, 1983
PEL (8 h)	USA-OSHA	3 ppm	NIOSH/OSHA, 1981
Norme de qualité du milieu de travail	Code du travail du Canada	2 ppm	Tataryn, 1983
Norme de qualité des ambiances intérieures	Proposition du USA-HUD	0,4 ppm	EST, 1984
	Exposition de courte durée		
STEL	USA-ACGIH	2 ppm (3 mg/m^3)	TLV, 1983
Plafond (30 mn)	USA-NIOSH	1 ppm	NIOSH/OSHA, 1981

Autres aspects de la toxicité pour l'homme

Notion	Origine	Teneur	Source
IDLH	USA-NIOSH/OSHA	100 ppm	NIOSH Guide, 1978
Teneur toxique minimale		17 mg/m^3	RTECS, 1979
Dose létale minimale		477 mg/kg	RTECS, 1979
Dose létale minimale (chez la femme)		36 mg/kg	RTECS, 1979

Indice de toxicité par inhalation. - L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance à causer un dommage à la suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante:

$$I.T.I. = 1315{,}12 \text{ (tension de vapeur en mm de Hg/TLV}^{\bullet}\text{)}$$

à -19 °C, I.T.I. = 1315,12 (757,56 mm de Hg/2 ppm)

à -19 °C, I.T.I. = 5×10^5

7.2 Données sur l'action irritante

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effets	Source(s)
• CHEZ L'HOMME		
10,5 à 41,7 ppm (10 mn)	Réaction vésiculaire bilatérale sur les mains d'une personne hypersensible	Horsfall, 1934 dans NIOSH, 1976
16 à 30 ppm (8 h/j)	Des réactions cutanées ont été observées chez certains travailleurs d'un groupe de 60; 16 d'entre eux ont souffert de dermatite avec un érythème marqué au cou et au visage.	Glass, 1961 dans NIOSH, 1976
Solution titrant 2 %	Seuil d'irritation dans le cas d'une solution	Law, 1982
Prolongée	Irritation primaire de la peau exposée à un contact direct avec le liquide et le gaz	Pirila et Kilpio, 1949; Roth, 1969 dans NIOSH, 1976
Prolongée	Dermatite allergique par contact cutané avec du formaldéhyde en solution	O'Quinn et Kennedy, 1965; Berrens et coll., 1964; Peek et Palitz, 1956; Fischer et coll., 1962; Shellow et Altman, 1966; Marcussen, 1962; Skogh, 1959 dans NIOSH, 1976
Prolongée	Dermatite allergique par suite d'un contact cutané avec des résines contenant du formaldéhyde	Ettinger et Jeremias, 1955; Pirila et Kilpio, 1949; Keil et Van Dyck, 1944; Logan et Perry, 1973; Frank, 1964 dans NIOSH, 1976
Prolongée	Dermatite allergique par suite d'une exposition à du formaldéhyde gazeux	Kratochuil, 1971; Hovding, 1969; Glass, 1961; Pirila et Kilpio, 1949; Horsfall, 1934; Harris, 1953 dans NIOSH, 1976
• CHEZ LE LAPIN		
540 mg/kg	Irritation bénigne, plaie	RTECS, 1979
50 mg/kg	Irritation d'intensité moyenne	RTECS, 1979
Solution titrant 0,1 à 20 %	Irritation bénigne	NRC, 1981

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source(s)
• CHEZ L'HOMME		
16 à 30 ppm (8 h/j, chronique)	Irritation des yeux	Glass, 1961 dans NIOSH, 1976
13,8 ppm (30 mn)	Irritation des yeux résorbée après 10 minutes dans la pièce	Sim et Pattle, 1957 dans NIOSH, 1976
0,09 à 5,26 ppm (avec paraformaldéhyde)	Irritation des yeux	Kerfoot et Mooney, 1975 dans NIOSH, 1976
4 ppm (5 mn)	Irritation	RTECS, 1979
0,9 à 3,3 ppm	Irritation bénigne	Miller et Blejer, 1966 dans NIOSH, 1976
0,9 à 2,7 ppm	Larmoiement s'accentuant en début de journée de travail et après la période du lunch	Miller et Blejer, 1966 dans NIOSH, 1976
0,9 à 1,6 ppm (8 h/j)	Démangeaisons aux yeux	Morrill, 1961 dans NIOSH, 1976
1,4 ppm	Sensibilité des yeux à la lumière affaiblie chez les personnes non adaptées	Melekhina, 1964 dans NIOSH, 1976
0,07 à 1,3 ppm (10 mn)	Modification de la chronaxie optique chez les personnes non adaptées	Melekhina, 1964 dans NIOSH, 1976
0,3 à 0,5 ppm (5 mn)	Dans une pièce à smog, fréquence de clignotement des yeux augmentant proportionnellement à la teneur en formaldéhyde	Schuck et coll., 1966 dans NIOSH, 1976
0,25 à 1 ppm	Seuil d'irritation	EST, 1984
0,01 ppm	Seuil de larmoiement et de sensation de brûlure	Tataryn, 1982
• CHEZ LE CHAT		
8150 ppm (3,5 h)	Coloration par du sang de l'humeur aqueuse	TDB (on-line), 1981
4900 ppm (3 h)	Lésions nécrotiques dans les cornées	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE LAPIN		
40 à 70 ppm	Irritation bénigne	NRC, 1981
750 µg/kg	Irritation grave	RTECS, 1979
0,005 ml de formaline à 15 %	Forte réaction, oedème cornéen et conjonctival	NRC, 1981

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. - Le formaldéhyde a une odeur semblable à celle du foin et de la paille, à la fois plaisante et piquante (Verschueren, 1984). Nombre du seuil de perception: 5 000 000 à 20 °C (Verschueren, 1984).

Paramètre	Milieu	Teneur	Source
Seuil d'identification	Air	1,00 ppm	ASTM, 1980
Limite de détection	Air	4,99 ppm	ASTM, 1980
Limite de détection	Air	2,50 ppm	ASTM, 1980
Seuil de perception inférieur	Air	0,05 à 1 ppm	NRC, 1981
Plage du seuil de perception	Eau	0,8 à 102 ppm	Verschueren, 1984

7.3.2 Saveur

Paramètre	Milieu	Teneur	Source
Seuil inférieur	Eau	20 à 50 ppm	Kirk-Othmer, 1980
Plage du seuil gustatif	Eau	0,8 à 102 ppm	Verschueren, 1984

7.4 Études sur les effet toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Source(s)
	A. - Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
100 ppm et plus	Effets toxiques graves; décès possible	NRC, 1981
50 à 100 ppm	Oedème pulmonaire, inflammation, pneumonie	NRC, 1981
10 à 20 ppm	Forte toux	Tataryn, 1983
0,09 à 5,26 ppm	Formaldéhyde avec paraformaldéhyde. Irritation des yeux et des voies respiratoires supérieures; diminution au cours de la journée, recrudescence après la période de lunch et la journée suivante.	Kerfoot et Mooney, 1975 dans NIOSH, 1976
4 à 5 ppm	Limite de tolérance	Law, 1982

Exposition	Effets	Source(s)
0,9 à 2,7 ppm	Larmoiement, irritation des muqueuses des fosses nasales et de la gorge. Les effets d'irritation se faisaient sentir surtout au début de l'exposition.	Blejer et Miller, 1966 dans NIOSH, 1976
0,8 à 1 ppm	Seuil d'apparition de la bronchite et de l'asthme.	EST, 1984
0,053 mg/m^3	Modifications de l'activité électrique du cerveau	Fel'dman et Bonashevskaya, 1971 dans NIOSH, 1976
0,04 mg/m^3	Aucune altération de l'activité électrique du cerveau chez les sujets	Fel'dman et Bonashevskaya, 1971 dans NIOSH, 1976
• CHEZ LE CHAT		
820 mg/m^3 (8 h)	Teneur létale minimale	RTECS, 1979
• CHEZ LE RAT		
815 ppm (3 mn)	Teneur létale 50	NRC, 1981
479 ppm (4 h)	Teneur létale 50	NRC, 1981
250 ppm (4 h)	Teneur létale minimale	RTECS, 1979
> 0,3 ppm (1 h)	La résistance accrue au débit pulmonaire n'est pas statistiquement significative jusqu'à 10 ppm ou plus.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LA SOURIS		
900 mg/kg (2 h)	Dose létale minimale	TDB (on-line), 1981
	B. - Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
1 à 11 ppm (8 h/j)	Inflammation des yeux et des muqueuses des voies nasales et de la gorge	Stickney, 1958 dans NIOSH, 1976
0,9 à 1,6 ppm (8 h/j)	Démangeaisons aux yeux; gorge sèche et sensible; sommeil perturbé; soif inhabituelle le matin au réveil	Morrill, 1961 dans NIOSH, 1976
0,8 ppm (par jour)	Modification de l'équilibre et des sensations olfactives, irritation des muqueuses des voies respiratoires supérieures et des yeux chez la plupart des personnes sensibles, accélération des rythmes alpha.	Zaeva et coll., 1968 dans NIOSH, 1976

Exposition	Effets	Source(s)
• CHEZ LE RAT		
1,6, 4,6 ou 8,1 ppm (45 à 90 j)	À 1,6 ppm, légère décoloration des poils. À 4,6 ppm (45 j), perte de poids. À 8,1 ppm, inflammation des muqueuses des voies respiratoires et des yeux, perte de poids.	NRC, 1981
4, 12,7 ou 38,1 ppm (6 h/j, 50 j/sem., 113 sem.)	À 4 ppm, aucun effet néfaste. À 12,7 ppm, perte de poids et inflammation des muqueuses des fosses nasales. À 38,1 ppm, ulcération et nécrose des muqueuses des fosses nasales.	NRC, 1981

7.4.2 Ingestion

Exposition	Effets	Source(s)
	A. - Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
240 ml, solution titrant 37 %	Douleur aiguë, ulcération et sténose de l'estomac, dysphagie	Roy et coll., 1962 dans NIOSH, 1976
120 cm^3, solution titrant 10 %	Rétrécissement de l'estomac après 3 mois	Bartone et coll., 1968 dans NIOSH, 1976
100 cm^3, titre non précisé	Douleur aiguë à l'épigastre, selles noires; dysphagie, sténose et destruction corrosive des tissus de l'estomac	Heffernon et Hajjar, 1964 dans NIOSH, 1976
4 onces (formaline)	Cyanose, hypothermie, respiration faible, pouls rapide, irrégulier et faible	Earp, 1916 dans NIOSH, 1976
1,5 once (formaline)	Cyanose, vomissements, assèchement des muqueuses de la bouche et de la gorge, pouls faible et irrégulier, faible respiration	Earp, 1916 dans NIOSH, 1976
0,5 once, solution titrant 37 à 40 %	Coma; rétablissement après traitement	Bower, 1909 dans NIOSH, 1976
36 mg/kg	Chez une femme, dose létale minimale	RTECS, 1979
• CHEZ LE COBAYE		
260 mg/kg	Dose létale 50	DPIMR, 1981
• CHEZ LE RAT		
800 mg/kg	Dose létale 50	RTECS, 1979

Exposition	Effets	Source(s)
	B. - Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
100 mg/j pendant 5 j, puis 200 mg/j pendant 10 j	Mélangé dans du lait. Maux de tête, maux d'estomac, sensation de brûlure dans la gorge, éruptions cutanées sur le thorax et les cuisses dans 4 cas sur 11.	Wiley, 1908 dans NIOSH, 1976
22 à 200 mg/j pendant 13 sem.	Malaises bénins à l'estomac et au pharynx	Yonkman et coll., 1941 dans NIOSH, 1976

7.4.3 Administration par voie sous-cutanée

Exposition	Effets	Source(s)
• CHEZ LE CHIEN		
550 mg/kg	Dose létale minimale	DPIMR, 1981
• CHEZ LE RAT		
420 mg/kg	Dose létale 50	DPIMR, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
300 mg/kg	Dose létale 50	RTECS, 1979

7.4.4 Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité

Exposition	Effets	Source(s)
• CHEZ LE LAPIN		
Non précisée	Hyperplasie des cellules des bronches avec hypermucigénèse	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE RAT		
15 ppm (16 h/j, 5 j/sem., 16 mois)	Apparition d'un cancer chez certains animaux le 12e mois. Carcinome nasal des cellules squameuses provenant de l'épithélium des turbanates nasales	CIIT, 1979 dans NIOSH, 1980
10,6 à 14,6 ppm (6 h/j pendant 814 j) (avec HCl)	Carcinome des cellules squameuses chez 25 des 100 sujets mâles et papillomes bénins chez 2 d'entre eux	Nyw, 1979 dans NIOSH, 1980

Exposition	Effets	Source(s)
6 ppm (6 h/j, 5 j/sem., 16 mois)	Un cas de carcinome des cellules squameuses provenant d'une épaisseur de peau dans le nez	CIIT, 1979 dans NIOSH, 1980
0,3 à 15 ppm (6 h)	Traces de formation de liaison protéinique ADN dans les muqueuses des voies respiratoires à des teneurs supérieures à 2 ppm; aucun lien avec les macromolécules osseuses n'a été observé.	CIIT, 1984a
14,3 ppm (jusqu'à 2 ans)	50 p. 100 des sujets ont souffert de carcinomes des cellules squameuses des fosses nasales	CIIT, 1984b
200 à 900 mg/m^3 (durées diverses)	Aucune trace de cancer des poumons	Horton et coll., 1963 dans NIOSH, 1976
0,012 à 1 mg/m^3 (10 à 15 j)	Les sujets ont été exposés pendant 10 à 15 jours avant l'insémination naturelle et pendant la gestation. Le poids total du corps et le poids de certains organes ont augmenté chez les petits des sujets exposés. Le poids des poumons et celui du foie étaient inférieurs à ceux des petits des animaux témoins.	Gofmekler, 1966 dans NIOSH, 1976
• CHEZ LA SOURIS		
6 à 15 ppm (6 h/j, 5 j/sem., 16 mois)	Les sujets ont développé un carcinome des cellules squameuses nasales.	CIIT, 1979 dans NIOSH, 1980
• CHEZ DES NON-MAMMIFÈRES		
Diverse	Des effets mutagènes ont été signalés chez la drosophile (*Drosophila*), la sauterelle, des plantes en fleur, les champignons et les bactéries.	Auerback et Moutschen, 1977 dans NIOSH, 1980; ECETOC, 1981; NRC, 1981
• CHEZ *SALMONELLA THYPHIMURIUM*		
Diverse	Test d'Ames positif (en ce qui a trait aux effets mutagènes) effectué dans des conditions difficiles.	EST, 1984

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune source n'est indiquée dans le cas de symptômes de nature courante, signalés dans la plupart des ouvrages de référence. En revanche, la mention des symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle est suivie d'une indication de source.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation
2. Toux
3. Serrement de poitrine (NIOSH, 1980)
4. Larmoiement
5. Irritation des yeux
6. Modification des fonctions du cortex cérébral (NIOSH, 1976)
7. Modification de l'équilibre et des sensations olfactives
8. Picotements et démangeaisons des membranes muqueuses
9. Accélération des rythmes alpha (NIOSH, 1976)
10. Palpitations
11. Perturbation du sommeil
12. Soif inhabituelle
13. Mal de gorge
14. Nausées (CHRIS, 1978)
15. Vomissements (CHRIS, 1978)
16. Bronchite
17. Dysphagie (TDB (on-line), 1981)
18. Troubles gastriques (NIOSH, 1976)
19. Pneumonite
20. Hémorrhagie (AAR, 1981)
21. Décès

7.5.2 Ingestion

1. Selles noires (NIOSH, 1976)
2. Douleur à l'épigastre
3. Vomissements
4. Hypothermie
5. Faible respiration
6. Pouls faible, rapide et irrégulier
7. Sécheresse et inflammation des muqueuses (AAR, 1981)
8. Destruction de l'estomac (NIOSH, 1976)
9. Sténose
10. Ulcération de l'estomac
11. Cyanose
12. Dysphagie (TDB (on-line), 1981)
13. Rétrécissement de l'estomac (NIOSH, 1976)

14. Coma
15. Décès

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation
2. Réactions vésiculaires bilatérales
3. Effet de tannage (AAR, 1981)
4. Sensibilisation allergique

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Larmoiement
2. Irritation
3. Démangeaisons
4. Diminution de la sensibilité à la lumière
5. Chronaxie optique

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le formaldéhyde et divers agents

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
En général														
Feu		●	●			●							Du formaldéhyde gazeux irritant peut se dégager d'un incendie. Le formaldéhyde en solution peut brûler et même exploser lorsqu'il est chauffé au-dessus de son point de congélation.	Sax, 1979
Chaleur		●	●			●							Un gaz inflammable dans l'air s'échappe rapidement de la solution.	Sax, 1979; NFPA, 1978
Corps														
Acide nitrique									●				Une réaction violente entraîne la décomposition en CO_2 et H_2O.	Walker, 1964
Acide performique			●							●			Le formaldéhyde est oxydé violemment par l'acide performique concentré et le mélange peut exploser violemment.	NFPA, 1978; Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Carbonate de magnésium			●					●					Explosion due à la pression du CO_2 produit par la réaction.	Bretherick, 1979
Dioxyde d'azote			●										Explosif à 180 °C.	NFPA, 1978
Nitrométhane			●										L'introduction d'air peut provoquer une violente explosion ou de forts dégagements de vapeurs.	Bretherick, 1979
Peroxyde d'hydrogène			●											Bretherick, 1979
Phénol								●					Explosion possible.	
Groupes de corps														
Alcalis et métaux alcalins-terreux	●			●									Production possible de gaz hydrogène inflammable.	EPA 600/2-80-076
Amines	●												Condensation exothermique formant des amines.	EPA 600/2-80-076
Caustiques	●				●								Auto-condensation.	EPA 600/2-80-076
Composés azoïques	●												Réaction exothermique dégageant du gaz azote.	EPA 600/2-80-076
Composés aliphatiques non saturés	●												Il peut y avoir une réaction exothermique de type Diels-Alder	EPA 600/2-80-076
Composés nitro	●												Réactions de condensation.	EPA 600/2-80-076
Dithiocarbamates				●		●							Peut produire du disulfure de carbone toxique et inflammable.	EPA 600/2-80-076

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Époxydes											●			EPA 600/2-80-076
Nitrures	●			●	●								Il peut y avoir production de gaz ammoniac inflammable par les réactions de la condensation.	EPA 600/2-80-076
Oxydants	●	●				●							Formation possible de l'acide carboxylique correspondant.	EPA 600/2-80-076
Peroxydes organiques	●									●			Réaction violente avec les acides peroxydiques. Les produits de la réaction sont instables à la chaleur et au choc.	EPA 600/2-80-076
Réducteurs	●			●									Production possible de gaz hydrogène inflammable	EPA 600/2-80-076
Sulfures	●												Des gem-hydroxythiols sont produits.	EPA 600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation d'origine a été respectée afin d'éviter toute déformation de sens; ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent des divergences entre les sources d'information. En fait, les divergences au sujet de mesures qui s'appliquent à des cas particuliers ne sont qu'apparentes, l'information pouvant être correcte ou non selon la situation. Le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. - Le formaldéhyde est un liquide combustible (GE, 1977). Le gaz s'évapore rapidement de la solution et il est inflammable dans l'air (NFPA, 1978). Les vapeurs peuvent s'éloigner du lieu du déversement et s'enflammer. Les récipients peuvent exploser à la chaleur du feu (ERG, 1980). L'oxygène de l'air peut oxyder le formaldéhyde en acide formique corrosif, particulièrement lorsqu'il est chauffé (GE, 1977).

9.1.2 Moyens d'extinction. - Refroidir les récipients au moyen de jets d'eau pulvérisée pour en empêcher l'éclatement (ERG, 1980; NFPA, 1978).

Petit feu: poudre sèche, neige carbonique, pulvérisation d'eau ou mousse anti-alcool.

Grand feu: eau pulvérisée, brouillard d'eau ou mousse.

Retirer les récipients exposés aux flammes si cela peut être fait sans danger. Éviter que de l'eau pénètre dans les récipients (ERG, 1980). Utiliser beaucoup d'eau pour éteindre le feu (Law, 1982).

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.3.1 Information générale. - Arrêter la fuite ou réduire le débit, si cela ne présente aucun risque. Éliminer toute source d'inflammation. Éviter tout contact cutané avec le produit ou toute inhalation de ses vapeurs (Celanese MSDS, 1979). De l'eau pulvérisée doit être utilisée pour abattre les vapeurs et protéger ceux qui essaient de confiner le liquide déversé (NFPA, 1978). Une mousse de fluorocarbure et d'eau peut être appliquée sur le liquide déversé pour réduire les vapeurs et les risques d'incendie après le déversement (EPA 670/2-75-042). Le Cellosize et l'Hycar sont des agents absorbants qui se sont révélés pratiques pour supprimer les vapeurs et confiner le formaldéhyde déversé (ICI, 1982). Les récipients fuyards doivent être remisés dans un endroit sûr pour y être réparés et leur contenu doit être transvasé dans des récipients intacts (MCA, 1960).

9.1.3.2 Déversement sur le sol. - Dans la mesure du possible, confiner les nappes à l'aide de barrières mécaniques pour empêcher le liquide de se répandre. Neutraliser le liquide confiné

avec de la chaux ou du bicarbonate de sodium (EPA 670/2-75-042). La neutralisation avec de l'hydroxyde d'ammonium ou la complexation par du sulfite de sodium sont également recommandées comme traitements sur place (Celanese MSDS, 1979).

9.1.3.3 Déversement dans l'eau. - Dans la mesure du possible, confiner la nappe au moyen de barrières naturelles. Récupérer le produit confiné avec des boyaux d'aspiration (EPA 670/2-75-042).

9.1.4 Nettoyage et traitement

9.1.4.1 Déversement sur le sol. - La superficie polluée qui reste peut être lavée avec une solution à base d'ammoniaque diluée pour éliminer toute émanation de vapeurs (Celanese MSDS, 1979). L'agent de lavage recommandé est une solution à 1 p. 100 de bicarbonate de sodium (CCPA, 1983).

9.1.4.2 Déversement dans l'eau. - De la chaux et du bicarbonate de sodium peuvent également être utilisés comme agents de neutralisation (EPA 670/2-75-042).

9.1.4.3 Information générale. - Le traitement sur lits bactériens élimine de 15 à 28 p. 100 (dose de 110 à 360 ppm); les boues activées éliminent de 47 à 94 p. 100 en 5 jours (dose de 370 à 1500 ppm); et le charbon actif élimine 9 p. 100 (dose de 1000 mg/l) (Verschueren, 1984).

L'osmose inverse s'est avérée utile en éliminant 20 à 80 p. 100 du formaldéhyde contenu dans de l'eau polluée (TSA, 1980). Des essais de diverses membranes d'osmose inverse ont donné une élimination du formaldéhyde de 20 à 40 p. 100 avec de l'acétate de cellulose, de 55 à 70 p. 100 avec le polyéthylèneimine réticulé et de 15 à 50 p. 100 avec des membranes en polyamide aromatique (Fang, 1976).

9.1.5 Élimination du polluant. - Le formaldéhyde résiduel recueilli sur les lieux d'un déversement ne doit jamais être rejeté dans les eaux de surface ni dans les égouts. Le formaldéhyde peut être brûlé directement dans un incinérateur (ou après mélange avec de l'alcool ou de l'acétone utilisé comme solvant inflammable) (GE, 1977). Il peut également être mélangé avec de l'albumine, de la caséine, de la gélatine, de la gélose ou de l'amidon pour former des composés insolubles qui peuvent être transportés ensuite dans des décharges sûres (OHM-TADS, 1981).

9.1.6 Appareils et vêtements de protection. - Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connus, il faut revêtir un scaphandre résistant aux agents chimiques et un appareil respiratoire isolant.

Si le produit déversé est du formaldéhyde:

- Il faut porter des lunettes étanches, des vêtements imperméables et un appareil respiratoire isolant ou à bidon filtrant (OHM-TADS, 1981);

- Un masque couvre-visage est recommandé pour toutes les teneurs supérieures à la TLV• ou dans les endroits où il peut y avoir des éclaboussures (GE, 1977);
- Il est recommandé de porter des gants en néoprène ou en caoutchouc (Celanese MSDS, 1979);
- Pour la fabrication de scaphandres résistants au formaldéhyde, on recommande le chloropel, le butyle (excellente résistance) et le PVC (bonne résistance) (EE-38);
- Le caoutchouc butyle, le nitrile, le néoprène, le polyéthylène chloré et le chlorure de polyvinyle offrent un temps de protection supérieure à une heure. Les matériaux de fabrication suivants ont présenté des temps de protection d'environ une heure: le caoutchouc naturel, le nitrile enduit de PVC, le polyéthylène, le polyuréthane et le caoutchouc de styrène-butadiène. Les matériaux de fabrication suivants ont présenté des temps de protection de moins d'une heure: le viton et l'alcool polyvinylique (Little, 1983);
- On doit trouver sur les lieux d'intervention des bains oculaires automatiques et des douches à fort débit faciles d'accès (GE, 1977).

Les appareils suivants constituent la protection respiratoire minimale recommandée aux personnes travaillant en présence de formaldéhyde pour un temps limité, dans des situations spéciales ou d'urgence (GE, 1977; CCPA, 1983).

Protection minimale des voies respiratoires

Situation	Équipement
Jusqu'à 12 mg/m^3	Respirateur avec cartouche contre les gaz acides
Jusqu'à 120 mg/m^3	Respirateur à bidon filtrant
Plus de 120 mg/m^3	Appareil respiratoire isolant ou à adduction d'air
Lutte contre l'incendie	Appareil respiratoire isolant

9.1.7 Entreposage. - Il faut entreposer le produit dans des récipients hermétiques, placés à l'abri des dégradations. Éviter tout contact avec les oxydants forts (GE, 1977). Le produit est également incompatible avec la soude caustique, les alcalis forts, les isocyanates, les anhydrides, les oxydes et les acides inorganiques (Celanese MSDS, 1979). La température d'entreposage doit être réglée (voir figure 4).

9.2 Équipement, techniques et produits spécialisés d'intervention

Les articles suivants sont mentionnés dans une étude antérieure (Dillon, 1982) et ne doivent pas être considérés comme les seuls équipements, matériels ou systèmes préventifs spécialisés vendus dans le commerce. Des précisions sur les spécifications, la performance et la disponibilité de ces éléments figurent dans l'étude citée.

Colmatage des fuites	Plug N'Dike®
Modification chimique/ physique	Procédé Ultrox (UV-Oxone)
Agent de traitement	Hazorb (sorbant)

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

10.1 Information générale

L'information contenue dans la présente section aidera le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversement accidentel. Seuls des cas qui offrent un intérêt pour le lecteur figurent dans la présente section; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème, ni la fréquence des accidents. Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les éditions ultérieures, au fil des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

10.2 Fuite d'un wagon-citerne (PC SPT, 1982; HMIR, 1982)

Un wagon-citerne immobilisé contenant environ 80 000 litres d'une solution de formaldéhyde à 50 p. 100 a déversé son contenu dans un fossé de drainage après l'ouverture du robinet de déchargement par des vandales. Environ 27 000 litres de la solution ont été déversés dans un cours d'eau voisin avant que l'accident ne soit découvert.

L'équipe d'intervention est arrivée sur les lieux quelques heures plus tard et a construit un barrage de terre dans le fossé de drainage contenant les 53 000 litres qui restaient de la solution déversée. Les maisons voisines ont été évacuées afin d'éviter toute inhalation de vapeurs de formaldéhyde. Ces vapeurs n'ont causé aucun problème, sauf dans le voisinage immédiat du wagon-citerne. Au cours des deux jours qui ont suivi, les équipes d'intervention ont utilisé 24 camions d'aspiration pour pomper dans des wagons-citernes et des camions-citernes la plus grande partie du liquide contenu dans le fossé.

Au cours de la deuxième nuit, de fortes précipitations ont compliqué les opérations de nettoyage en remplissant le fossé d'eau. Plus de 10×10^6 litres d'eau polluée ont été pompés et transportés dans une installation de traitement des déchets, neutralisés par du peroxyde d'hydrogène et déversés dans un bassin d'évaporation solaire. Deux jours plus tard, de fortes pluies sont tombées sur la région et les équipes de nettoyage ont dû relâcher certaines quantités d'eau polluée, étant donné que la capacité de stockage avait diminué sur les lieux du déversement. Des sacs de sable ont été empilés sur le barrage afin de le garder intact. Le jour suivant, il y a eu une fuite dans le barrage et on a dû évacuer du liquide en espérant que les fortes pluies diluent la solution qui restait. Les localités situées en amont ont également ouvert les vannes des barrages de leurs réservoirs pour diluer davantage le formaldéhyde avant que celui-ci n'atteigne le cours d'eau. On a signalé que la solution déversée a tué plusieurs centaines de poissons, de grenouilles et de salamandres. Les localités en aval ont signalé des cas de personnes souffrant d'étourdissements et de nausées après l'accident, probablement après avoir bu de l'eau polluée.

Le nettoyage du fossé de drainage par excavation du sol pollué n'a pas suffi à éliminer le formaldéhyde résiduel. Les équipes de nettoyage ont proposé de recourir à la décomposition microbienne à l'aide de bactéries mutantes Polybac. Un fossé a été creusé sur les lieux du déversement pour recueillir toutes les eaux de percolation provenant de différents endroits. On a découvert que le matériau poreux dans lequel le formaldéhyde avait été absorbé avait une profondeur d'un mètre et que l'argile sous-jacente empêchait le produit de s'enfoncer plus profondément dans le sol. La solution bactérienne a ensuite été pompée à partir d'un réservoir d'agitation, vaporisée sur les lieux du déversement et on a laissé le matériau poreux l'absorber. Les eaux de percolation se sont ensuite écoulées à la surface de la couche d'argile jusque dans le fossé collecteur. L'analyse de ces eaux a indiqué que la teneur en formaldéhyde avait été réduite de 700 mg/l à 1 mg/l. Les eaux de percolation ont ensuite été recueillies pour être éliminées.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant de matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin.

Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Spectrophotométrie (NIOSH, 1978; NCASI, 1982). - La présente méthode permet de doser le formaldéhyde présent dans l'air à des teneurs variant de 0,1 à 2 ppm (123 à 2454 g/m^3) avec une précision de ±5 p. 100. Le formaldéhyde réagit avec une solution d'acide chromotropique-acide sulfurique en formant un composé chromogénique monocationique pourpre.

Deux mini-barboteurs contenant chacun 20 ml d'eau distillée sont reliés en série à une pompe sous vide. L'air est échantillonné à raison de 1 l/mn pendant 1 heure. Cette durée peut être moindre lorsqu'on s'attend à une teneur élevée en formaldéhyde. Après l'échantillonnage, l'échantillon est transféré quantitativement dans une fiole jaugée de 50 ml, le barboteur est rincé avec un faible volume d'eau distillée et le volume est dilué à 50 ml avec de l'eau distillée. Il faut analyser cet échantillon dès les premiers jours car il se dégrade rapidement.

Le réactif chromotronique est préparé en dissolvant 0,1 g de 4,5-dihydroxy-2,7-naphtalènedisulfonate de disodium dans de l'eau et en diluant à 10 ml. Ce mélange est filtré si nécessaire et stocké dans une bouteille brune. Il faut préparer un mélange frais toutes les semaines.

Une portion de 4 ml de l'échantillon dilué est transférée à l'aide d'une pipette dans une éprouvette en verre bouchée. Un blanc de réactif contenant 6 ml d'eau distillée doit également être soumis à l'essai. Un volume de 0,1 ml du réactif acide chromotropique est ajouté et la solution est mélangée. Lentement et avec beaucoup de précaution, 6 ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés. Après que la solution est refroidie à la température ambiante et mélangée, mesurer l'absorbance à 580 nm à l'aide d'un spectrophotomètre adéquat utilisant des cuves compatibles de 1 cm. La teneur est mesurée quantitativement à l'aide d'une courbe d'étalonnage préparée avec des solutions étalons de formaldéhyde. Il faut prendre bien soin qu'aucune matière organique provenant de l'eau ou des instruments en verre ne soit présente, étant donné que celle-ci s'oxyde en présence d'acide sulfurique concentré.

11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

Cette méthode permet de doser le formaldéhyde présent dans l'air à des teneurs variant de 1,6 à 50 ppm avec un tube détecteur Drager. Un volume d'air déterminé est aspiré à travers un tube détecteur Drager pour formaldéhyde à l'aide d'une pompe multigaz pour détecteur Drager. Un changement de teinte de la couche indicatrice de blanc à rose indique la présence de formaldéhyde. Le changement de teinte est basé sur la réaction entre le formaldéhyde et l'acide sulfurique en présence de vapeurs de xylènes (Drager, 1979).

11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Spectrophotométrie (NIOSH, 1978). - Cette méthode permet de doser le formaldéhyde présent dans l'eau à des teneurs variant de 1,8 à 36,8 ppm (1,8 à 36,8 µg/ml) avec une précision de ±5 p. 100. Le formaldéhyde réagit avec la solution acide chromotropique-acide sulfurique pour former un composé chromogénique monocationique pourpre. Il est préférable de ne pas utiliser cette méthode en présence de matières organiques.

Un échantillon représentatif d'eau d'au moins 1 ml est prélevé dans un contenant en verre approprié. Il ne faut pas utiliser un bouchon en caoutchouc. Le réactif chromotropique est préparé en dissolvant 0,10 g de 4,5-dihydroxy-2,7-naphtalènedisulfonate de disodium en diluant à 10 ml. Ce mélange est filtré au besoin et conservé dans une bouteille brune. Il faut préparer une solution fraîche toutes les semaines.

Une portion de 4 ml est transférée à l'aide d'une pipette dans une éprouvette en verre bouchée. Un blanc de réactif contenant 4 ml d'eau distillée doit également subir le même essai. Un volume de 0,1 ml de réactif à acide chromotropique est ajouté à la solution à mélanger. Lentement et avec beaucoup de précaution, on ajoute 6 ml d'acide sulfurique concentré. Lorsque la solution est refroidie à température ambiante et mélangée, l'absorbance est mesurée à 580 nm à l'aide d'un spectrophotomètre adéquat utilisant des cuves compatibles de 1 cm. Le formaldéhyde est dosé quantitativement à l'aide d'une courbe d'étalonnage

préparée avec des solutions étalons de formaldéhyde. Il faut veiller à ce qu'il n'y ait aucune matière organique provenant de l'eau ou des instruments en verre, étant donné que celle-ci est oxydée par l'acide sulfurique concentré.

11.3.2 Spectroscopie infrarouge (AWWA, 1981). - La spectrophotométrie infrarouge permet de déceler des teneurs en formaldéhyde de l'eau variant de 40 à 400 ppm (40 à 400 µg/ml). Cette méthode peut être utilisée même si l'échantillon contient des matières organiques.

Un échantillon représentatif minimal de 1 ml est prélevé dans un contenant approprié et acidifié à pH 2 ou moins avec de l'acide chlorhydrique dilué. Un volume de 5 ml d'acide devrait être suffisant. L'échantillon est transféré dans une ampoule à décantation et 30 ml de Fréon 113 (trichloro-1,1,2-trifluoro-1,2,2 éthane sont ajoutés après avoir été utilisés pour rincer le contenant de l'échantillon. La couche de solvant est transférée dans une fiole jaugée de 100 ml. On fait deux autres extractions avec 30 ml de Fréon. Les extraits sont combinés dans une fiole jaugée de 100 ml. Le volume est porté à 100 ml avec du Fréon. La présence de formaldéhyde est décelée à l'aide d'un spectrophotomètre IR fonctionnant à 3200-2700 cm^{-1} avec des cuves de verre compatibles de 1 cm. La teneur de l'échantillon est calculée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.4 Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)

L'échantillon est prélevé comme en 11.3.1. Un volume de 0,5 ml d'une solution de nitrate d'argent à 5 p. 100 est transféré dans une éprouvette propre. Une petite quantité d'ammoniaque est ajoutée goutte à goutte jusqu'à ce que le précipité brun qui s'était formé commence à se dissoudre. La plus petite quantité possible d'échantillon est alors ajoutée et le mélange est agité et chauffé sur un bain-marie de 50 à 60 °C. La formation d'un miroir d'argent sur les parois de l'éprouvette indique la présence d'un aldéhyde (Owen, 1969).

11.5 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.5.1 Spectroscopie infrarouge (AWWA, 1981). - La spectrophotométrie infrarouge permet de déceler des teneurs en formaldéhyde de 40 à 400 ppm. On introduit dans un flacon de verre 20 grammes de sol, pesés avec précision, que l'on sèche sur du sulfate de magnésium. On utilise du Fréon 113 (trichloro-1,1,2-trifluoro-1,2,2 éthane) pour extraire le formaldéhyde. Les extraits sont combinés dans une fiole jaugée de 100 ml et le volume est porté à 100 ml avec du Fréon. La présence de formaldéhyde est décelée à l'aide d'un spectrophotomètre IR fonctionnant de 3200 à 2700 cm^{-1} avec des cuves de verre compatibles de 1 cm. La teneur de l'échantillon est calculée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.6 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)

L'échantillon est prélevé comme en 11.5.1, puis extrait. La présence de formaldéhyde est décelée à l'aide d'un spectrophotomètre IR fonctionnant de 3200 à 2700 cm^{-1} avec des cuves de verre compatibles de 1 cm. La présence de bandes d'absorption caractéristiques sert à doser qualitativement le formaldéhyde (AWWA, 1981).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(Reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A (1980).

AWWA 1981: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B (1981).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

CCP 1981: Canadian Chemical Processing, "More At Issue Than the Foam Ban", Vol. 65, No. 7, pp. 34-39 (October, 1981).

* CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (October, 1981).

* CCPA 1983: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (1983).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

Celanese MSDS 1979: Celanese Chemical Company, Inc., Material Safety Data Sheet, Montreal, Quebec (November, 1979).

Celanese PB: Celanese Chemical Company Inc., Product Bulletin, Dallas, TX (not dated).

CG-D-38-76: Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

CIIT 1984a: Heck, H. and C. Schmitz, "The Relevance of Disposition Studies to the Toxicology of Formaldehyde", CIIT Activities, Vol. 4, No. 5, pp. 1-5 (1984).

* Publié également en français.

CIIT 1984b: Star, T.B., "The Importance of Delivered Dose in Estimating Cancer Risk from Formaldehyde Exposure", CIIT Activities, Vol. 4, No. 6, pp. 1-5 (1984).

Clemens 1959: Clemens, H.P. and K.E. Sneed, "Lethal Doses of Several Commercial Chemicals for Fingerling Channel Catfish", U.S. Fish and Wildlife Service, Spec. Sci. Rep. Fish., No. 316, p. 10 (1959).

Corpus 1984: Corpus Information Services Ltd., "Formaldehyde", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (February 15, 1984).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

* Dillon 1982: Dillon, M.M., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH (1981).

Dow PPS 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

DPIMR 1981: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1, No. 4, pp. 70-72 (March/April, 1981).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 81 (1979).

ECETOC 1981: European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre, The Mutagenic and Carcinogenic Potential of Formaldehyde, Brussels, Belgium, ECETOC Technical Report No. 2 (1981).

* EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version (not dated).

EPA 440/9-75-009: Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, DC, EPA 440/9-75-009 (November, 1975).

EPA 560/2-76-009: Kitchens, J.F., Investigation of Potential Environmental Contaminants: Formaldehyde, Office of Toxic Substances, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 560/2-76-009 (1976).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

* Publié également en français.

EPA 600/2-77-239: Effect of Hazardous Material Spills on Biological Treatment Processes, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-239 (1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

EST 1984: Environ. Sci. Technol., "Formaldehyde: Assessing the Risk", Vol. 18, No. 7, pp. 216a-221a (1984).

Fang 1976: Fang, H.N.P. and E.S.K. Chian, "Reverse Osmosis Separation of Polar Organic Compounds in Aqueous Solution", Environ. Sci. Technol., Vol. 10, No. 4, pp. 364-369 (1976).

GE 1977: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Formaldehyde", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (October, 1977).

GE 1979: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY (1979).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

GPP: Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

Helms 1967: Helms, D.R., "Use of Formalin for Selective Control of Tadpoles in the Presence of Fish", Progr. Fish-Cult., Vol. 29, pp. 43-47 (1967).

Henkelekian 1971: Henkelekian, H. and M.C. Rand, "Biochemical Oxygen Demand of Pure Compounds", Sewage Ind. Wastes (27-29 September, 1955).

Hernandez 1977: Hernandez, R., P. Masclet, and G. Mouvier, J. Electron Spectroscopy Related Phenomena, Vol. 10, p. 333. (1977).

HIS 1969: Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th edition, New York, NY (1969).

HMIR 1982: World Information Systems, "Tank Car Spills Formaldehyde into California River", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4 (9 April, 1982).

Hughes 1973: Hughes, J.S., Acute Toxicity of Thirty Chemicals to Striped Bass (*Morone saxatilis*), presented at the Western Association of State Game and Fish Commissioners, Salt Lake City, UT (July, 1973).

ICI 1982: Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, second edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

Jones 1971: Jones H.R., Environmental Control in the Organic and Petrochemical Industries, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, pp. 8-25 (1971).

Jopek 1980: Jopek, Z., J.A. Madej, and M. Mazurkiewicz, "The Influence of Environmental Contamination with Formaldehyde on the Goose and Brood", Med. Water, Vol. 36, No. 7, pp. 426-430 (1980).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

JWPCF 1981: Journal of the Water Pollution Control Federation, No. 53, Vol. 6, p. 1039 (1981).

JWPCF 1983: Journal of the Water Pollution Control Federation, No. 55, Vol. 6, p. 846 (1983).

Kirk-Othmer 1980: Grayson, M. and D. Eckroth, (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 2, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1980).

Law 1982: Law, C. et al., The Formaldehyde Issue, Corpus Publishers, Toronto, Ontario (1982).

* Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J. and E.O. Becker, First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA (1980).

Little 1983: Little, A.D. (ed.), Relationship Between Organic Chemical Pollution of Fresh Water and Health, A.D. Little Inc., Cambridge, MA (1983).

MCA 1960: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, DC (1960).

Merck 1976: Windholz, M., S. Budavari, L.Y. Stroumtsos, and M.N. Fertig, (eds.), The Merck Index, ninth edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1976).

Metry 1980: Metry, A.A., The Handbook of Hazardous Waste Management, Technomic Publishing Company, Inc., Westport, CT (1980).

MHSSW 1976: North Atlantic Treaty Organization (NATO), Manual on Hazardous Substances in Special Wastes, Federal Environmental Agency, Waste Management Division, Berlin, West Germany (October, 1976).

Middlebrooks 1973: Middlebrooks, E.J., M.J. Garpor, R.D. Caspar, J.H. Reynolds, and D.N. Procella, Effects of Temperature on the Toxicity to Aquatic Biota of Waste Discharge - A Compilation of the Literature, NTIS PB-239 127 (October, 1973).

* Publié également en français.

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

NCASI 1982: National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, A Review of Workplace Measurement Methods for Formaldehyde, New York, NY (1982).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, seventh edition, Boston, MA (1978).

NIOSH 1976: National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Formaldehyde, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH (1976).

NIOSH 1978: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 1, S. 125, Cincinnati, OH, P&CAM 241 (1978).

NIOSH 1980: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Current Intelligence Bulletin No. 34, Formaldehyde: Evidence of Carcinogenicity, Cincinnati, OH (December, 1980).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123 (1981).

NRC 1981: National Research Council, Formaldehyde and Other Aldehydes, Committee on Aldehydes, Assembly of Life Sciences, National Academy Press, Washington, DC (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Owen 1969: Owen, T.C., Characterization of Organic Compounds by Chemical Methods, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, p. 154 (1969).

PC SPT 1982: Personal Communication, Southern Pacific Transportation Co., San Francisco, CA (7 June, 1982).

Portman 1970: Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (September, 1970).

PPH 1984: Gallant, R.W. and J.M. Railey, Physical Properties of Hydro Carbons, Vol. 11, Gulf Publishing Co., Houston, TX (1984).

Rouse 1961: Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Ryerman 1966: Ryerman, A.W., A.V.S. Prabhakava Rho, and J.C. Jr. Buzzell, Behaviour of Organic Chemicals in the Aquatic Environment, Manufacturing Chemists Association, Washington, DC. (1966).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

Sills 1979: Sills, J.B. and J.L. Allen, "Residues of Formaldehyde Undetected in Fish Exposed to Formalin", Prog. Fish-Cult., Vol. 41, No. 2, pp. 67-68 (1979).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Tataryn 1983: Tataryn, L., Formaldehyde on Trial, J. Lorimer and Co., Toronto, Ontario (1983).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

Temple 1978: Temple, R.E. et al., "A New Universal Sorbent for Hazardous Spills", Proceedings of 1978 National Conference on Control of Hazardous Materials (1978).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983, Cincinnati, OH (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

TSA 1980: Shuckrow, A.J., A.P. Pajak and J.W. Osheka, Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA (1980).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

* Publié également en français.

Verschueren 1984: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Walker 1964: Walker J.F., Formaldehyde, Reinhold Publishing Corp., New York, NY (1964).

Wilford 1966: Wilford, W.A., "Toxicity of 22 Therapeutic Compounds to Six Fishes", Investigations in Fish Control, No. 18, U.S. Fish and Wildlife Service, Bureau of Sport Fish and Wildlife, Pub. 35, 10 pp. (1966).

WQC 1963: McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

WQC 1972: National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972: A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC (1972).

WQCDB-4 1970: Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 4 (1970).

WQCDB-3 1971: Water Quality Criteria Data Book Vol. 3, Batelle Columbus Laboratories for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1971).

WQCDB-5 1973: Water Quality Criteria Book Vol. 5, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1973).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV*s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983, Cincinnati, OH (1983).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A (1980).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B (1981).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version (not dated).

Canadian Chemical Processing, "More At Issue Than the Foam Ban", Vol. 65, No. 7, pp. 34-39 (October, 1981).

* The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (October, 1981).

* The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (1983).

* Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

Celanese Chemical Company Inc., Product Bulletin, Dallas, TX (not dated).

Celanese Chemical Company, Inc., Material Safety Data Sheet, Montreal, Quebec. (November, 1979).

Clemens, H.P. and K.E. Sneed, "Lethal Doses of Several Commercial Chemicals for Fingerling Channel Catfish", U.S. Fish and Wildlife Service, Spec. Sci. Rep. Fish., No. 316, p. 10 (1959).

Corpus Information Services Ltd., "Formaldehyde", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (February 15, 1984).

* Dillon, M.M., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

Effect of Hazardous Material Spills on Biological Treatment Processes, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-239 (1977).

Environ. Sci. Technol., "Formaldehyde: Assessing the Risk", Vol. 18, No. 7, pp. 216a-221a (1984).

European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre, The Mutagenic and Carcinogenic Potential of Formaldehyde, Brussels, Belgium, ECETOC Technical Report No. 2 (1981).

Fang, H.N.P. and E.S.K. Chian, "Reverse Osmosis Separation of Polar Organic Compounds in Aqueous Solution", Environ. Sci. Technol., Vol. 10, No. 4, pp. 364-369 (1976).

Gallant, R.W. and J.M. Railey, Physical Properties of Hydro Carbons, Vol. 11, Gulf Publishing Co., Houston, TX (1984).

* Publié également en français.

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Formaldehyde", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (October, 1977).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY (1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Grayson, M. and D. Eckroth, (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 2, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1980).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens, and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

Heck, H. and C. Schmitz, "The Relevance of Disposition Studies to the Toxicology of Formaldehyde", CIIT Activities, Vol. 4, No. 5, pp. 1-5 (1984).

Helms, D.R., "Use of Formalin for Selective Control of Tadpoles in the Presence of Fish", Progr. Fish-Cult., Vol. 29, pp. 43-47 (1967).

Henkelekian, H. and M.C. Rand, "Biochemical Oxygen Demand of Pure Compounds", Sewage Ind. Wastes (27-29 September, 1955).

Hernandez, R., P. Masclet and G. Mouvier J. Electron Spectroscopy Related Phenomena, Vol. 10, p. 333 (1977).

Hughes, J.S., Acute Toxicity of Thirty Chemicals to Striped Bass (*Morone saxatilis*), Presented at the Western Association of State Game and Fish Commissioners, Salt Lake City, UT (July, 1973).

Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th edition, New York, NY (1969).

Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan (1981).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Jones, H.R., Environmental Control in the Organic and Petrochemical Industries, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, pp. 8-25 (1971).

Jopek, Z., J.A. Madej and M. Mazurkiewicz, "The Influence of Environmental Contamination with Formaldehyde on the Goose and Brood", Med. Water, Vol. 36, No. 7, pp. 426-430 (1980).

Journal of the Water Pollution Control Federation, No. 53, Vol. 6, p. 1039 (1981).

Journal of the Water Pollution Control Federation, No. 55, Vol. 6, p. 846 (1983).

Kitchens, J.F., Investigation of Potential Environmental Contaminants: Formaldehyde, Office of Toxic Substances, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 560/2-76-009 (1976).

Law, C. et al., The Formaldehyde Issue, Corpus Publishers, Toronto, Ontario. (1982).

* Lefèvre, M.J. and E.O. Becker, First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA (1980).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, Fourth Edition, Lubeck, Germany, p. 81 (1979).

Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Little, A.D. (ed.), Relationship Between Organic Chemical Pollution of Fresh Water and Health, A.D. Little Inc., Cambridge, MA (1983).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, DC (1960).

McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

Metry, A.A., The Handbook of Hazardous Waste Management, Technomic Publishing Company, Inc., Westport, CT (1980).

Middlebrooks, E.J., M.J. Garpor, R.D. Caspar, J.H. Reynolds and D.N. Procella, Effects of Temperature on the Toxicity to Aquatic Biota of Waste Discharge - A Compilation of the Literature, NTIS PB-239 127 (October, 1973).

National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC (1972).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, A Review of Workplace Measurement Methods for Formaldehyde, New York, NY (1982).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA (1978).

* Publié également en français.

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 1, S. 125, Cincinnati, OH, P&CAM 241 (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Formaldehyde, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH (1976).

National Research Council, Formaldehyde and Other Aldehydes, Committee on Aldehydes, Assembly of Life Sciences, National Academy Press, Washington, DC (1981).

North Atlantic Treaty Organization (NATO), Manual on Hazardous Substances in Special Wastes, Federal Environmental Agency, Waste Management Division, Berlin, West Germany (October, 1976).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Owen, T.C., Characterization of Organic Compounds by Chemical Methods, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, p. 154 (1969).

Personal Communication, Southern Pacific Transportation Co., San Francisco, CA (7 June, 1982).

Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (September, 1970).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

Ryerman, A.W., A.V.S. Prabhakava Rho and J.C. Jr. Buzzell, Behaviour of Organic Chemicals in the Aquatic Environment, Manufacturing Chemists Association, Washington, DC (1966).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1, No. 4, pp. 70-72 (March/April, 1981).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

Shuckrow, A.J., A.P. Pajak and J.W. Osheka, Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA (1980).

Sills, J.B. and J.L. Allen, "Residues of Formaldehyde Undetected in Fish Exposed to Formalin", Prog. Fish-Cult., Vol. 41, No. 2. pp. 67-68 (1979).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

Star, T.B., "The Importance of Delivered Dose in Estimating Cancer Risk from Formaldehyde Exposure", CIIT Activities, Vol. 4, No. 6, pp. 1-5 (1984).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Stull, D.R. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, DC, EPA 440/9-75-009 (November, 1975).

Tataryn, L., Formaldehyde on Trial, J. Lorimer and Co., Toronto, Ontario (1983).

Temple, R.E. et al., "A New Universal Sorbent for Hazardous Spills", Proceedings of 1978 National Conference on Control of Hazardous Materials (1978).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123 (1981).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Current Intelligence Bulletin No. 34, Formaldehyde: Evidence of Carcinogenicity, Cincinnati, OH (December, 1980).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

---

* Publié également en français.

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Walker, J.F., Formaldehyde, Reinhold Publishing Corp., New York, NY (1964).

Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 4 (1970).

Water Quality Criteria Data Book Vol. 3, Batelle Columbus Laboratories for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1971).

Water Quality Criteria Book Vol. 5, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1973).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Wilford, W.A., "Toxicity of 22 Therapeutic Compounds to Six Fishes", Investigations in Fish Control, No. 18, U.S. Fish and Wildlife Service, Bureau of Sport Fish and Wildlife, Pub. 35, 10 pp. (1966).

Windholz, M., S. Budavari, L.Y. Stroumtsos and M.N. Fertig, (eds.), The Merck Index, ninth edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1976).

World Information Systems, "Tank Car Spills Formaldehyde into California River", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4 (9 April, 1982).